

Anais do 7º Seminário de Inovação e Tecnologia do IFSul

Proceedings of seventh Innovation and Technology Seminar IFSul



Edição

**Prof. Dr. Eng. Vinícius Martins
Prof. Tecgº Paulo Ricardo Böesch Júnior**

Novembro 2018

ISSN 2446-7618

ANAIS do 7ª Seminário de Inovação e Tecnologia do IFSul – Brasil/RS

Proceedings of seventh Innovation and Technology Seminar IFSul – Brazil/RS

Os textos que compõem os ANAIS foram impressos conforme os originais enviados pelos autores, portanto todas as informações são de responsabilidade dos autores.

Todos os direitos e autorização para uso das informações contidas nestes Anais pertencem ao **Instituto Federal de Educação, ciência e Tecnologia Sul Rio-grandense.**

Sapucaia do Sul, 06 a 08 de Novembro de 2018.

PREFÁCIO

No ano de 2018 o povo Brasileiro elegeu o seu 38º Presidente numa atribulada e polarizada eleição. Destaca-se que o ano foi grandemente instável em sua economia com uma expectativa para o Produto Interno Bruto (PIB) que permaneceu em 1,36%, conforme o Relatório de Mercado Focus, divulgado. Sendo que há esperança para 2019, que o mercado mantenha uma previsão de alta do PIB em 2,50%. Acredita-se que a crise socio-política-econômica termine com o fim do Governo Temer.

Houve a publicação no Diário Oficial da União o decreto que regulamenta o Marco Legal da Ciência, Tecnologia e Inovação (Lei nº 13.243/2016) e traz a expectativa de desburocratizar as atividades de pesquisa e inovação no país. Um trabalho de muitas pessoas ao longo dos últimos anos, de diversas instituições públicas e privadas e do governo. Daqui para frente, teremos melhores condições de avançar com nossa pesquisa. As novas regras criam mecanismos para integrar instituições científicas/tecnológicas e incentiva investimentos em pesquisa. O Marco Legal permite a atualização do Brasil como país de desenvolvimento tecnológico com a integração das instituições de ensino/Pesquisa com o mundo produtivo local, nacional e internacional.

A Inovação é a ação ou o ato de inovar, ou seja, modificando antigos costumes, hábitos, legislações, processos e etc.; efeito de renovação ou criação de uma novidade. Inovar sempre é possível com pouco ou mínimo recurso. Porém a inovação tecnológica precisa de investimento para aquisição de equipamentos de ponta, acesso a base de dados e softwares. Precisa da integração dos cérebros pensantes de cooperação entre a indústria e a academia. Diversos países estão investindo em inovação tecnológica.

A inovação deve ser multidisciplinar e que permita o desenvolvimento humano em sua plenitude como ser inteligente e capaz de muda o mundo em que vive. Em setembro de 2015, líderes mundiais reuniram-se na sede da ONU, em Nova York, e decidiram um plano de ação para erradicar a pobreza, proteger o planeta e garantir que as pessoas alcancem a paz e a prosperidade: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, a qual contém o conjunto de 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). A Agenda 2030 e os ODS afirmam que para pôr o mundo em um caminho sustentável é urgentemente necessário tomar medidas ousadas e transformadoras. Os ODS constituem

uma ambiciosa lista de tarefas para todas as pessoas, em todas as partes, a serem cumpridas até 2030. Se cumprirmos suas metas, seremos a primeira geração a erradicar a pobreza extrema e iremos poupar as gerações futuras dos piores efeitos adversos da mudança do clima. Os 17 objetivos de desenvolvimento sustentável serão somente alcançados através de desenvolvimento tecnológico com inovações através de pesquisa aplicada que é a missão dos Institutos Federais.

E é esta a missão do IFSul de desenvolver tecnologia aplicada ao mundo do trabalho através da nacionalização de tecnologias e produtos. A absorção do conhecimento técnico, científico e a formação de recursos humanos para inovação. Unindo o conhecimento teórico ao aplicado através de pesquisas e inovações entre o mundo acadêmico e a o setor industrial é uma das metas que norteiam esta edição do INOVTEC.

Neste caminho chegamos ao 7º Seminário de Inovação e Tecnologia do IFSul - INOVTEC 2018, com o intuito de unir as instituições de pesquisas com troca de informações e tecnologia para o bem comum da humanidade. A junção da indústria, que move o Brasil e impulsiona as riquezas com a academia onde formamos profissionais de alta capacidade prontos para o mercado de trabalho é de fundamental importância estratégica para o país que tem interesse em transformar-se em uma grande potência. A força motriz da inovação é o ser humano criativo e determinado em transformar através do trabalho, o mundo conforme as suas aspirações com determinações promovendo um mundo melhor para as próximas gerações e para o meio ambiente.

Prof. Dr. Vinícius Martins
Presidente da Comissão Organizadora
Sapucaia do Sul - RS, Brasil, Novembro de 2018.

PREFACE

In the year of 2018 the Brazilian people elected its 38th President in a polarized base and election. It was highlighted that the year was ultimately unstable in its economy with an expectation for the Gross Domestic Product (GDP) that was 1.36%, according to Market Report, disclosed. Being that there is hope for 2019, that the market maintain a high of GDP in 2.50%. It is believed that a socio-political-economic crisis will end with the end of the Temer government.

The publication was published in the Diário Oficial da União the decree that regulates the Legal Framework of Science, Technology and Innovation (Law nº 13.243 / 2016) and brings the expectation of bureaucratizing research and innovation activities in the country. A work of many people over the past few years, from various public and private institutions and government. From now on, we will be better able to advance our research. The new rules create mechanisms to integrate scientific / technological institutions and encourages investments in research. The Legal Framework allows the updating of Brazil as a country of technological development with the integration of teaching / research institutions with the local, national and international productive world.

Innovation is the action or the act of innovating, that is, modifying old customs, habits, legislations, processes and the like; effect of renewal or creation of a novelty. Innovating is always possible with little or minimal recourse. But technological innovation requires investment for the acquisition of state-of-the-art equipment, access to database and software. It needs the integration of the thinking brains of cooperation between industry and academia. Several countries are investing in technological innovation.

Innovation must be multidisciplinary and allow human development in its fullness as being intelligent and able to change the world in which it lives. In September 2015, world leaders gathered at UN headquarters in New York and decided on a plan of action to eradicate poverty, protect the planet and ensure that people achieve peace and prosperity: Agenda 2030 for Sustainable Development, which contains the set of 17 Sustainable Development Objectives (ODS). Agenda 2030 and the ODS state that to take the world on a sustainable path, bold and transformative measures are urgently needed. The ODS is an ambitious task list for all people everywhere to be met by 2030. If we meet our goals, we

will be the first generation to eradicate extreme poverty and we will spare future generations from the worst adverse effects of change of the climate. The 17 sustainable development goals will only be achieved through technological development with innovations through applied research which is the mission of the federal institute.

And this is IFSul's mission to develop technology applied to the world of work through the nationalization of technologies and products. The absorption of technical and scientific knowledge and the training of human resources for innovation. Joining theoretical knowledge to applied through research and innovations between the academic world and the industrial sector is one of the goals that guide this edition of INOVTEC.

In this way we arrive at the 7th Seminar of Innovation and Technology of IFSul - INOVTEC 2018, with the intention of uniting the research institutions with exchange of information and technology for the common good of humanity. The combination of industry that moves Brazil and boosts wealth with the academy where we train high-capacity professionals ready for the job market is of fundamental strategic importance for the country that has an interest in becoming a great power. The driving force of innovation is the creative and determined human being to transform through work, the world according to its aspirations with determinations promoting a better world for the next generations and for the environment.

Prof. Dr. Vinícius Martins
President of Organization Commission
Sapucaia do Sul – RS, Brazil, November 2018.

Comissão Organizadora Permanente

Michel Gularte Recondo – Tecnologia da Informação

Patrícia Hammes Strelow – Comunicação

Paulo Ricardo Böesch Júnior – Membro Técnico

Vinícius Martins – Presidente da Comissão

Comissão Organizadora

Carolina Soares da Silva

Cassia Aparecida Lopes da Silva

Cláudia Ciceri Cesa

Mack Léo Pedroso

Michel Gularte Recondo

Paulo Ricardo Böesch Júnior

Patrícia Hammes Strelow

Sara Massotti Bonin

Vinícius Martins – Coordenação Geral

Virgínia Caetano Baumhardt

Comissão Científica Nacional

Carlos Alberto Mendes Moraes (UNISINOS – Brasil)
Célia Malfatti (UFRGS – Brasil)
César Antonio Oropesa Avellaneda (UFPel – Brasil)
Cristiano Vitorino da Silva (URI – Brasil)
Daniel Pacheco Lacerda (UNISINOS – Brasil)
Diego Piazza (UCS – RS)
Eleani Maria da Costa (PUC-RS – Brasil)
Eduardo André Perondi (UFRGS – Brasil)
Guilherme Holsbach Costa (UCS – Brasil)
Ivan Guerra Machado (UFRGS – Brasil)
Jarbas André da Rosa (FACCAT – Brasil)
Joanir Luís Kalnin (UCS – Brasil)
José Carlos Krause de Verney (ULBRA – Brasil)
José Lesina César (ULBRA – Brasil)
Leandro Sosnoski (FTEC – Brasil)
Lírio Schaeffer (UFRGS – Brasil)
Maria Luiza Sperb Indrusiak (UNISINOS – Brasil)
Mauricio Zardo Oliveira (UCS – Brasil)
Moises de Mattos Dias (FEEVALE – Brasil)
Nestor Heck (UFRGS – Brasil)
Patrice Monteiro de Aquim (FEEVALE – Brasil)
Rejane Maria Candiota Tubino (UFRGS – Brasil)
Robinson Figueiredo de Camargo (UFSM – Brasil)
Rodrigo Marques de Figueiredo (UNISINOS – Brasil)
Ruth Marlene Campomanes Santana (UFRGS – Brasil)
Sandro Luís Arenhardt (SENAI – Brasil)
Sandro Rogério dos Santos (UCS – Brasil)
Sérgio da Silva Kucera (UCS – Brasil)

Comissão Científica Internacional

Professor PHD José R. Marty Delgado (UCLV – Cuba / Angola)

Professor Dr. Germán Abate (INTI - Argentina)

Professor Dr. Ernesto Gustavo Máffia (Universidad Nacional de La Plata – Unlp)

Professor John Strybos (Alamo Colleges – Estados Unidos)

Comissão Discente

Lara Gross da Silva

Mayre Letyele Bieger

Roberta Jacobus Winck

Apoio



Realização



INDICE - SUMMARY

299- PRODUÇÃO DE COMPONENTES DE ALUMÍNIO POR METALURGIA DO PÓ

dos Santos, M. A.¹; Schaeffer, L.²

1 - 14

300- PROJETO CONCEITUAL DE UMA AERONAVE ULTRALEVE: PARTE 2 - PROJETO PRELIMINAR DA ESTRUTURA

Pires, M. A. 1; de Barba Junior, D. J.²

15 - 29

301- AVALIAÇÃO AMBIENTAL COMPARATIVA EM UM RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO FEDERAL

Pereira, D. C. K.¹; Strasburg, V. J. ²

30 - 36

302- PROJETO DE UMA BANCADA DIDÁTICA MULTIDISCIPLINAR

Cruz, G.A.¹; Mattos, M. S. ³; Martins, A. S.⁴; Gayer, Y. E. ²

37 - 44

303- CONTROLE DE ESTOQUE: PLANEJAMENTO DE IMPLEMENTAÇÃO EM EMPRESA DE TECNOLOGIA DE PEQUENO PORTE

Machado, I. C.¹; Martins, R. S. ²; Martins, Jr. W. D. ³

45 - 56

304- DETERMINAÇÃO DE HIDROCARBONETOS POLICICLICOS AROMATICOS EM SEDIMENTOS DA PRAIA DO PONTAL, ARROIO GRANDE, RS

Arduim, J.¹; Amaral, M.A ²; Silva, K. M.³; Sanches Filho, P.J.⁴

57 - 67

305- MEDIDOR DE ENERGIA PARA INJETORA USANDO ARDUINO

Camargo, R.¹; de Barba, D. ²

68 - 78

306- FABRICAÇÃO DE MODELOS DE FUNDIÇÃO EM IMPRESSÃO 3D.

Nascimento, T.S.¹; Ferranti, G.²; Pasini, W.M.³; Haag, J. ⁴; Lessa, C.R.L. ⁵

79 - 84

307- ELABORAÇÃO DE UM PLANO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS PARA UNIDADES DE ALIMENTAÇÃO E NUTRIÇÃO.

Pereira, D. C. K.¹; Campani, D. B.²; de Souza. J. P.³

85 - 98

308- DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA CARROS: APLICAÇÃO COMO FONTE INTEGRADA EM RESIDÊNCIAS

Feijó, E.P.¹; Flach, M.A. ²

99 - 105

309- ANÁLISE DE PARÂMETROS DE ESTAMPAGEM INCREMENTAL PARA ALUMÍNIO PURO COM DIÂMETRO DE FERRAMENTA 22 mm

Schreiber, R. G.¹; Teixeira, A. R.²; Schaeffer, L.³

106 - 114

310- A INFLUÊNCIA DE SISTEMAS DE VEDAÇÕES VERTICAIS EXTERNOS – ELEMENTO CONSTITUINTE DA ENVOLTÓRIA – NO DESEMPENHO TÉRMICO DAS EDIFICAÇÕES

Bueno, G. M.¹; González, M. A. S. ²

115 - 126

311- ADAPTAÇÃO DE MOINHO DE JARROS PARA TAMBOREAMENTO EM ESCALA LABORATORIAL

Compazzi, Marcelo G. D. ¹; Fagundes, Enio C.M.²; Calcagno, Carmen I. W.³

127 - 133

312- DESENVOLVIMENTO DE EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS A PARTIR DE AMIDO DE MANDIOCA: COMPARAÇÃO COM UM MATERIAL COMERCIAL

Silveira, A. M. ¹; Martins, A. B. ²; Santana, R. M. C. ³

134 – 142

313- ESTUDO DA DEGRADAÇÃO DE AZUL DE METILENO EM SOLUÇÃO ATRAVÉS DO TRATAMENTO COM PLASMA FRIO

De Oliveira, L. S.¹; Takimi, A. S.²

143 - 155

314- UM ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NO TAMANHO DO GRÃO AUSTENÍTICO.

Silveira, A. C. F.¹; Zaccani, C.C.²; Simon, F. A.³; Rocha, A.S.⁴; Nunes, R. M.⁵

156 - 169

315- COMPARAÇÃO ENTRE DOIS SISTEMAS DE RESFRIAMENTO PARA REDUÇÃO DE FALHAS POR FADIGA TÉRMICA EM MOLDE DE INJEÇÃO DE ALUMÍNIO

Camargo, S. A.¹; Romeiro, L.C.²

170 - 177

316- EFEITO DE ROTAS DE PROCESSAMENTO TERMOMECÂNICO SOBRE AS PROPRIEDADES MECÂNICAS E METALÚRGICAS DO AÇO DIN20MnCr5

Hatwig, R.A.¹; Dalcin, R. L.²; Silveira, A.C.F.³; Perozzo, T. S.⁴; Ivaniski, T. M.⁵; Rocha, A.S.⁶

178 - 192

317- REVESTIMENTOS ORGÂNICOS POLIMÉRICOS A BASE DE PANI-ES E PANI-ES/APP PARA PROTEÇÃO CONTRA O FOGO

Tocchetto, N. S.¹; Baldissera, A. F.²; Ferreira, C. A.³

193 - 207

318- SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES DE CeO₂ PARA PRODUÇÃO DE SUPERFÍCIES SUPER-HIDROFÓBICAS

Hochudt, M. L.¹; Takimi, A. S.²

208 - 222

319- ESTUDO DO NÍVEL DE CONTAMINAÇÃO DO ÓLEO LUBRIFICANTE COM ÁGUA EM BOMBAS CENTRÍFUGAS

Cabreira, M. R.¹; de Barba Junior, D.J.²

223 - 237

320- ANÁLISE DO NOVO SISTEMA DE COBRANÇA DA ÁGUA NA CIDADE DE PELOTAS

Horvath, A. R.¹; Santos, M. K.²; Cecconello, S. T.³

238 – 244

321- OTIMIZAÇÃO DE MASSA EM ESTRUTURAS TRELIÇADAS POR ALGORITMO FIREFLY

Camargo, P.M.¹; Souza, T. F. ²

245 - 258

322- A INFLUÊNCIA DA DISPERSÃO DE LUZ, GERADA POR UMA CAMADA ADICIONAL DE TIO₂, NOS PARÂMETROS ELÉTRICOS DE CÉLULAS SOLARES SENSIBILIZADAS POR CORANTES.

Andrade, R.L. ¹; Santos, M.J.L ²; Oliveira, M.C. ³; Kohlrausch, E.C.⁴

259 - 273

323- MOTORIZAÇÕES PARA AUTOMÓVEIS DE USO URBANO SEGUNDO CRITÉRIOS AMBIENTAIS, TÉCNICOS E ECONÔMICOS

De Barba Jr, D. J.¹; Klein, L. S. ²; Bork, C. A. S.³

274 - 288

324- ABORDAGEM SOBRE LEIS PERTINENTES AOS RESÍDUOS SÓLIDOS DE SERVIÇO DA SAÚDE (RSS) E INCINERAÇÃO

Piovezan, A. A.¹; Teston, A. G.²; Rodrigues, A. C.³; Tubino, R. M. C.⁴

289 - 297

325- ANÁLISE COMPARATIVA DE RENDIMENTOS EM BIO-ÓLEO DE PIRÓLISES RÁPIDA E LENTA DO CAROÇO DO PÊSSEGO

Duarte, C.S.¹; Silveira, L.A.²; Valadão, L.S.³; De los Santos, D.G.⁴; Sanches Filho. P.J.⁵

298 - 304

326- ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E CONCENTRAÇÃO NA REAÇÃO DE SAPONIFICAÇÃO DO ACETATO DE SÓDIO

Boemeke, V. H.¹; Andrade, V.M. ²

305 - 311

327- ANÁLISE ESPECTRAL DO PROCESSO DE BALANCEAMENTO DINÂMICO COM 2 PLANOS DE CORREÇÃO EM UMA BANCADA DIDÁTICA COM EIXO RÍGIDO

Gomes, W.R.C.¹; Rosa, W. da.²

312 - 320

328- APLICAÇÃO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E TÉRMICA PARA USO RESIDENCIAL

Oliveira, A. M. C. P.¹; Moraes, C. A. M. ²; Kappler, G. ³

321 - 330

329- APLICAÇÃO DE LEAN OFFICE NO SETOR DE ESTÁGIOS DO IFSUL

de Barba Jr, D.J.¹; Kuhn, L. Q. ²; Bork. C.A.S.³

331 - 342

330- ASSOCIAÇÃO DE TANINO E TEOS NA PASSIVAÇÃO DO AÇO GALVANIZADO

Bezerra, B.F.A.¹; Meneguzzi, A. ²

343 - 351

331- ATIVIDADE FOTOELETROCATALÍTICA DE NANOESTRUTURAS DE Nb₂O₅ OBTIDOS POR ANODIZAÇÃO

Lemes, T.¹; Adamski, J. ²; Aguzzoli. C.³; Malfatti. C.F.⁴

352 - 359

332- AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO DO REVESTIMENTO DE CONVERSÃO DE ÓXIDO DE Zr NANOMÉTRICO SOBRE A LIGA AA7075-T6 COM DIFERENTES PRÉ-TRATAMENTOS

Jéssica Salles Pinheiro ¹; Gabriel Regio ²; Jane Zoppas Ferreira ³

360 - 373

333- AVALIAÇÃO DO COEFICIENTE DE ATRITO EM DIFERENTES SUBSTRATOS DE FOSFATO COM BASE NO TESTE DO ANEL

Monteiro, J. R. P. ¹; de Verney, J. C. K. ²; dos Santos, L. H ³; César, J. L. ⁴

374 - 385

334- CARACTERIZAÇÃO DE DIFERENTES TIPOS DE SOLDAS UTILIZANDO ANÁLISE MICROESTRUTURAL

Feloy.L¹; Cozzarín A.L²; Maffía E.G³

386 - 395

335- CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE BUTIÁ (*Butia capitata*)

Oswald, C.¹; Kuhn, C.R.²; Foster, H. B.³; Toralles, R.P.⁴; Olendzki, R.N.⁵

396 - 401

336- CARACTERIZAÇÃO MICROBIOLÓGICA DO SUCO DE BUTIÁ (*Butiá capitata*)

Foster, H. B.¹; Oswald, C.²; Kuhn, C.R.³; Toralles, R.P.⁴; Olendzki, R.N.⁵

402 - 413

337- COMPARAÇÃO DO DESGASTE DO PAR TRIBOLÓGICO PA6 E POM COM AL 6063 T5

Antonioli, M.P.¹; Malfatti, C.F.²

414 - 426

338- COMPARAÇÃO ENTRE DOIS SISTEMAS DE RESFRIAMENTO PARA REDUÇÃO DE FALHAS POR FADIGA TÉRMICA EM MOLDE DE INJEÇÃO DE ALUMÍNIO

Camargo, S. A.¹; Romeiro, L.C.²

427 - 434

339- COMPILAÇÃO SOBRE A APLICAÇÃO DE ESCÓRIAS SIDERÚRGICAS EM CONCRETOS

Piussi, S. L.¹; Cunha, M. G. C. ²; Tubino, R. M. C.³

435 - 446

340- DELINEAMENTO AMOSTRAL DE AGREGADOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

Waskow, R.P.¹; Gschwenter, V. L. ²; Tubino, R.M.C.³

447 - 459

341- DESENVOLVIMENTO DE UM PLANO DE LUBRIFICAÇÃO

de Barba Jr, D.J.¹; Lamb, G. A. ²; Bork. C.A.³

460 - 470

**342- DESIGN FOR ASSEMBLY (DFA) E DESIGN FOR DISASSEMBLY (DFD)
APLICADOS NO PROJETO DE MOLDES DE INJEÇÃO DE TERMOPLÁSTICOS**

De Barba Jr, D. J.¹; Corrêa, C. M.²; Cardoso, D. C.³; Bork, C. A. S.⁴

471 - 483

**343- DETERMINAÇÃO DA INDUÇÃO DE SATURAÇÃO DE CAMPO MAGNÉTICO EM
LIGAS FERROSAS PARA APLICAÇÃO EM NÚCLEO DE ALTO FALANTES**

Oliveira, W. C. ¹; de Barcellos, V. K.²

484 - 492

**344- EFEITO DA POLIMERIZAÇÃO POR PLASMA SOBRE A MORFOLOGIA E
PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE SUPERFÍCIES NANOESTRUTURADAS DE
Ti6Al4V**

Pereira, M.P.¹; Antonini, L.A.²; Pereira, M. B.³; Malfatti, C.F.⁴

493 - 505

345- ENSAIO DE PERMEABILIDADE EM PEÇAS SINTERIZADAS

de Souza, V. M.¹; Martins, V. ²; Souza, P. ³; Wurzel, C, A ⁴; Tubino, R. M.C.⁵

506 - 512

**346- ESTUDO COMPARATIVO DE ABSORÇÃO DE UMIDADE ENTRE HIDROGÉIS À
BASE DE POLI (ÁLCOOL VINÍLICO) COM DIFERENTES TEORES DE ÁCIDO CÍTRICO**

Santos, F. L.¹; Pittol, L. C.²; Santana, R. M. C.³

513 - 519

**347- ESTUDO DA APLICAÇÃO DO NEGRO DE FUMO NO PROCESSO DE
CEMENTAÇÃO SÓLIDA NO AÇO SAE 1020**

*Enck, R. O.¹; Castro, F. P. de ²; Santo, G. de A.³; Gomes, W. R. C.⁴; Reguly Jr, H.⁵;
Rodrigues, E. F.⁶; Souto, A A da R.⁷*

520 - 532

348- ESTUDO DE ADEQUAÇÃO DE UMA LINHA DE ENSAQUE CONFORME NR-12

de Barba Jr, D.J.¹; Crestani, G.²; Bork, C.A.³

533 - 545

349- ESTUDO DE CASO: CORROSÃO EM SISTEMA DE PRODUÇÃO DE ETENO UTILIZANDO ETANOL

Henke, F. K.¹; Meneguzzi, A. ²; Moreira, V.B.³

546 - 554

350- ESTUDO DE UM SISTEMA HÍBRIDO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DE FONTES RENOVÁVEIS

Dias, M.M.¹, Santos, A.S.², Both, N.A.³, Fröhlich, M.A.⁴, Fett, J.R.⁵, Ferreira, L.D.⁶, Santos, V.B.⁷, Fröhlich, W.R.⁸, Andrade, B.P.B.⁹, Kauffmann, G.R.¹⁰, Rosa, N.O.¹¹, Fraga, J.C.G.¹², Silva, E.R.¹³

555 - 574

351- FILMES BIODEGRADÁVEIS A BASE DE PROTEÍNA DE SOJA: EFEITO DAS CONDIÇÕES DE PROCESSAMENTO

Cofferi, P. ¹; Tessaro de Moraes, C.²; Monticelli, B ³; Santana, R.M.C.⁴

575 - 583

352- GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E COMPOSTAGEM

Piovezan, A. A.¹; Hijazin, C. A. H. ²; Goudinho, F. S.³; Tubino, R. M. C.⁴

584 - 595

353- INFLUÊNCIA DA LIGNINA NA PROTEÇÃO TÉRMICA DE REVESTIMENTOS INTUMESCENTES A BASE DE BENZOAZINA

Beraldo, C. H. M.¹; Carvalho, V. C. de A.²; Silveira, M. R. da S.³; Baldissera, A. F.⁴; Ferreira, C. A.⁵

596 - 602

354- INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NO PROCESSAMENTO E NAS PROPRIEDADES DE LÂMINAS À BASE DE PROTEÍNA PLASTIFICADA.

Tessaro de Moraes, C.¹; Cofferi, P. ²; Monticelli, B.³; Santana, R.M.C.⁴

603 - 610

355- INFLUÊNCIA DO USO DE ADITIVO MODIFICADOR DE IMPACTO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO COPOLÍMERO RANDÔMICO DE POLIPROPILENO

Pereira, J. R. D.¹ Calcagno, C. I. W.² Santana, R.M.C.³

611 - 620

356- LEAN OFFICE E ANÁLISE DE FLUXO DE VALOR

de Barba Jr, D.J.¹; Kuhn, L. Q.²; Bork. C.A.S.³

621 - 630

357- MATERIAIS PARA APLICAÇÃO EM ELETROCATALISADORES DE CÉLULAS A COMBUSTÍVEL DE ETANOL DIRETO

Brasil, L.M.M.¹; Kinast, E.J.²; Silva, R.C.B.³; Ries, L.A.S.⁴; Malfatti, C.F.⁵

631 - 639

358- MORFOLOGIA DA CAMADA CARBONOSA EM REVESTIMENTOS INTUMESCENTES COM LIGNINA

Beraldo, C. H. M.¹; Carvalho, V. C. de A.²; Silveira, M. R. da S.³; Baldissera, A. F.⁴; Ferreira, C. A.⁵

640 - 647

359- NOVA GERAÇÃO DE REVESTIMENTOS PARA FERRAMENTAS DE CONFORMAÇÃO A FRIO: UMA ABORDAGEM EM BUSCA DE UM TRIBOSSISTEMA IDEAL PARA UMA PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL

Sumny, M. A. H.¹; Bergmann, C. P.²

648 - 660

360- OBTENÇÃO DE ELASTÔMEROS TERMOPLÁSTICOS A PARTIR DA RECICLAGEM DE CÁPSULAS DE CAFÉ

de Oliveira, M. S.¹; Fagundes, E. C. M.²; Calcagno, C. I. W.³

661 - 673

361- OBTENÇÃO E A CARACTERIZAÇÃO DE CATALIZADORES NANOESTRUTURADOS DE ÓXIDO DE NIÓBIO (Nb2O5).

Lemes, T.¹; Cadorin, M.²; Adamski, J.³; Aguzzoli, C.⁴; Malfatti, C.F.⁵

674 - 679

362- PITCHER – REUSO DE RESÍDUO CERÂMICO

de Souza, V. M.¹; Martins, V. ²; Tubino, R. M.C.³

680 - 688

363- PROCESSOS DE RECICLAGEM DE PILHAS E BATERIAS: UMA REVISÃO DOS PRINCIPAIS MÉTODOS

Gomes, W.R.C.¹; Milke, E. C. ²

689 - 700

364- PROJETO CONCEITUAL DE UMA AERONAVE ULTRALEVE: PARTE 1 - PROJETO PRELIMINAR DA ESTRUTURA

Pires, M. A.¹; de Barba Junior, D. J. ²

701 - 714

365- PROJETO: ESPETO ROTATÓRIO AUTOSSUFICIENTE

Pires, M. A.¹; Apollo, A. L.²; Calcagno, C. I.W.³

715 - 729

366- PROJETO DE MAPA TÁTIL DO IFSUL- SAPUCAIA DO SUL PARA ACESSIBILIDADE DE DEFICIENTES VISUAIS

Raupp, Daniela O.¹; Calcagno, Carmen I. W. ²

730 - 740

367- REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE MÁRMORE E GRANITO PARA A PRODUÇÃO DE TIJOLOS CERÂMICOS.

Oliveira, A. M. C. P.¹; Moraes, C. A. M.²; Souza, D. M.³

741 - 755

368- UTILIZAÇÃO DE ARDUINO PARA MEDIÇÃO DE DENSIDADE DE CERVEJA

de Barba Jr., D. J.¹; Wiegand, F. T. ²; Pierobon. L, R. P.³

756 - 767

369- UTILIZAÇÃO DE PEQUENOS AEROGERADORES NA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Bitencourt, S.D.¹, Dias, M.M.², Aquim, P.M.³, Martins, R.M.⁴, Moura, A.B.D.⁵, Cezar, J.L.⁶, Verney, J.C.K.⁷, Gertz, L.C.⁸, Martins, V.⁹, Borba, M.G.¹⁰

768 - 776

370- USO DE INDICADORES APLICADOS para a GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Piovezan, A. A.¹; Ávila, G. C. ²; Dutra. W.T. ³; Campani, D. B. ⁴; Tubino, R. M. C. ⁵

777 - 786

371- PELOTIZAÇÃO NA OBTENÇÃO DE PARTÍCULAS CERÂMICAS

Cardoso, Gustavo.¹; Souza, Pedro H. M. ²; Fagundes, Enio C.M.³; Martins, Vinicius⁴; Calcagno, Carmen I. W.⁵,

787 - 795

372- DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO: PROJETO DE UM ALIMENTADOR AUTOMATIZADO PARA KIT DIDÁTICO DE MECATRÔNICA

Terres, W. V. F.¹; de Matos, E. B. ²; Martins. R. S.³; Valadão, Y. N. ⁴

796 - 804

373- ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA SECAGEM DE MISTURAS DE PROTEÍNA DE SOJA COM DIFERENTES PLASTIFICANTES NAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS.

Tessaro de Moraes, C.¹; Cofferi, P. ²; Monticelli, B.³; Santana, R.M.C.⁴

805 - 811

374- EFEITO DA CORRENTE DE AR DURANTE O PROCESSO DE SOLDAGEM FCAW-S SOBRE A MICROESTRUTURA E DUREZA DOS CORDÕES DE SOLDA.

Wolfart Junior, M.¹; Fogliatto, A. A. B. ²; De Souza. T, F.³; Turra. C, J.⁴

812 - 821

PRODUÇÃO DE COMPONENTES DE ALUMÍNIO POR METALURGIA DO PÓ

dos Santos, M. A.¹

Schaeffer, L.²

¹ *Mestrado, Marcus Aurelio dos Santos, UFRGS, marcus.santos81@yahoo.com.br*

² *Prof. Dr. Ingº, Lirio Schaeffer, UFRGS, schaeffer@ufrgs.br*

Resumo

O objetivo desse trabalho é analisar a fabricação de buchas a base de Alumínio empregando o processo de Metalurgia do Pó, em substituição ao processo atual de fundição e usinagem. O material testado é uma liga a base de Alumínio AlSi10Cu3, essa liga contém 87% de Alumínio, 10% de Silício, 2,5% de Cobre, 0,25% de Magnésio e Manganês, conforme a norma DIN EN 1706. As amostras foram compactadas à 600MPa, resultado obtido da curva de compressibilidade. As amostras foram sinterizadas a uma temperatura de 550°C durante 60 minutos. Após sinterização as amostras foram submetidas ao processo de Tratamento Térmico T6, com temperatura de solubilização de 480°C por 5 horas e envelhecimento a 220°C por 5 horas, nomeado Tratamento Térmico A. Foram realizados ensaios de densidade, dureza, metalografia, compressibilidade, difração de raios-x e variação dimensional. A densidade das amostras sinterizadas atingiram 2,52 g/cm³ ± 0,25. A dureza superficial das amostras atingiram uma média de 51 HB ± 4. Com o tratamento térmico T6 a dureza elevou-se para 74 HB ± 2. A variação dimensional das amostras após sinterização foi de 0,20% em volume.

Palavras-chave: Metalurgia do Pó; Liga de Alumínio AlSi10Cu3; Sinterização; Tratamento Térmico T6.

PRODUCTION OF ALUMINUM COMPONENTS BY POWDER METALURGY

Abstract

The objective of this work is to analyze the manufacture of aluminum based bushings employing the Powder Metallurgy process in substitution of the current process of casting and machining. The material tested is an AlSi10Cu3 aluminum alloy, this alloy contains 87% aluminum, 10% silicon, 2.5% copper, 0.25% magnesium and manganese, according to DIN EN 1706. The samples were compressed at 600Mpa, result obtained from the compressibility curve. The samples were sintered at a temperature of 550°C for 60 minutes. After sintering, the samples were submitted to the T6 Thermal Treatment process, with a solubilization temperature of 480°C for 5 hours and aging at 220°C for 5 hours, named Thermal Treatment A. Density, hardness, metallography, compressibility, X-ray diffraction and dimensional variation. The density of the sintered samples reached 2.52 g/cm³ ± 0.25. The surface hardness of the samples reached the mean of 51 HB ± 4. With the heat treatment T6 the hardness increased to 74 HB ± 2. The dimensional variation of the samples after sintering was 0.20% by volume.

Key words: Powder Metallurgy; AlSi10Cu3 aluminum alloy; Sintering; Heat Treatment T6.

1 Introdução

Desenvolver um processo de fabricação por Metalurgia do Pó Convencional de um componente de liga $AlSi10Cu3$ e correlacionar tecnicamente com o comportamento físico-mecânico do mesmo componente fabricado pelo processo de fundição (injeção com câmara fria), onde foram avaliadas as seguintes características: densidade, variação dimensional, dureza, metalografia, resistência a compressão e difração por raios-x; sendo este o objetivo geral deste trabalho.

Peças produzidas por Metalurgia do Pó Convencional têm diversas aplicações industriais, incluindo a indústria de ferramentas motorizadas. Como exemplos destes usos, podem-se citar: furadeiras, roçadeiras, lava-jato, motosserras, sopradores e cortadores de grama. Peças técnicas produzidas por Metalurgia do Pó Convencional são mostradas na figura 1, como: mancais, buchas, flanges, alavancas e engrenagens.

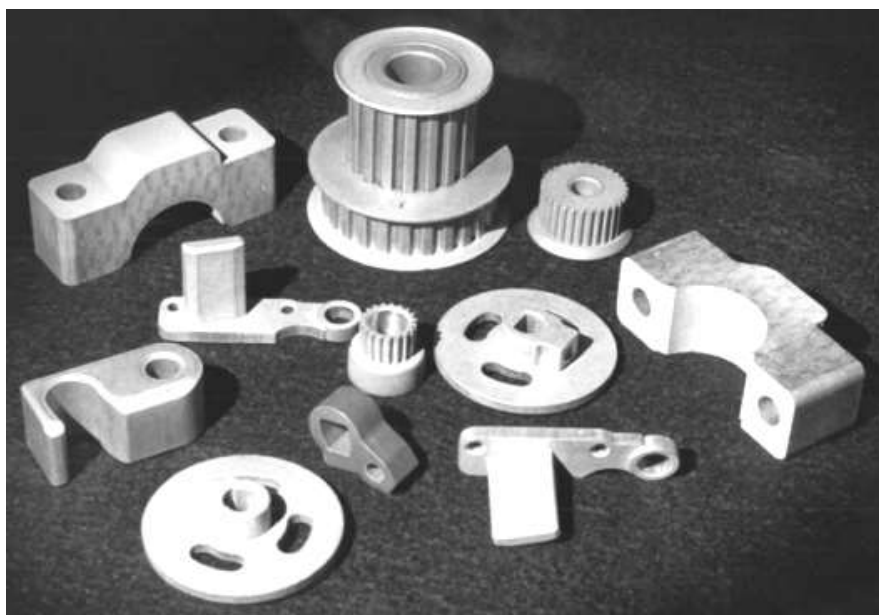


Figura 1- Peças de alumínio produzidas por Metalurgia do Pó [1].

Os processos da Metalurgia do Pó permitem um controle rigoroso da composição química e são características físicas que permitam adaptar atributos específicos para aplicações direcionadas. Desenvolvimento e inovação em técnicas de produção em Metalurgia do Pó são constantemente perseguidos para atender a qualidade, custo e requisitos de desempenho, existentes em aplicações de alto nível.

Adicionalmente, estes materiais compósitos de matriz de Alumínio proporcionam uma excelente resistência, ductilidade e desempenho em relação à corrosão. Muitos estudos são localizados na literatura envolvendo a obtenção de compósitos de ligas de Alumínio por técnicas de Metalurgia do Pó devido à versatilidade, as quais compreendem, em geral, a mistura de pós, compactação e sinterização. Entretanto, a produção de peças em Alumínio por sinterização é mais complexa do que a de outros materiais (por exemplo, o Ferro), devido à facilidade de oxidação do Alumínio, o que promove a formação de uma camada de óxido superficial nas partículas impedindo a difusão no processo de sinterização.

Este trabalho tem como objetivo geral a produção de CPs por MP para uma possível fabricação de um componente de AlSi10Cu3 conforme a figura 2. Esses componentes (buchas) são utilizados em ferramentas motorizadas a combustão. Com a possível substituição de processos (fundição/usinagem por MP) espera-se uma produção mais simples e com poucas operações secundárias.

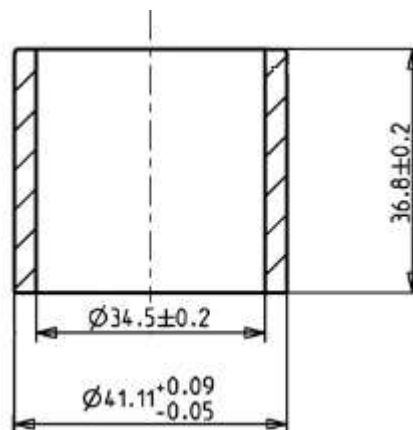


Figura 2 - Bucha de AlSi10Cu3 utilizadas em Motosserras

2 Alumínio na metalurgia do pó

As ligas de Alumínio para Metalurgia do Pó dividem-se em dois grandes grupos, ligas convencionais e ligas avançadas. As ligas convencionais são frequentemente baseadas em ligas de Alumínio existente em forjamento, com pouca ou nenhuma alteração no processo para Metalurgia do Pó. Estas ligas representam atualmente a maior parte das ligas de Alumínio usadas para produzir peças. Ligas avançadas foram desenvolvidas e continuam a ser desenvolvidas para aproveitar muitos dos aspectos especiais da Metalurgia do Pó. Matriz de metal compostos,

ligas de Alumínio de alta temperatura e Alumínio de alta resistência ao desgaste está entre aqueles que estão tendo um maior desenvolvimento. Estas ligas estão lentamente começando a ser usados em aplicações comerciais, mas eventualmente comandará uma fatia considerável do mercado, de acordo com Handbook of Aluminum [1]. A Tabela 1 apresenta alguns tipos de ligas de Alumínio utilizadas na Metalurgia do Pó:

Liga	Al	Si	Cu	Mg	Zn
601 AB	98,2	0,6	0,3	1,0	
602 AB	99,0	0,4		0,6	
201 AB	94,3	0,8	4,4	0,5	
202 AB	96,0		4,0		
MD-22	96,7	0,3	2,0	1,0	
MD-24	94,2	0,9	4,4	0,5	
MD-69	98,2	0,6	0,3	1,0	
MD-79	90,3		1,6	2,5	5,6

Tabela 1: Composições de ligas de alumínio por P/M

2.1 Ligas de AlSi10Cu3

As ligas de AlSi10Cu3 são largamente empregadas na produção industrial ao invés de aço e o ferro fundido, nas indústrias de alto avanço tecnológico, como na indústria automobilística. A relevância desta liga deve-se especialmente ao seu menor peso específico, alta resistência ao desgaste e à corrosão, pequeno nível de expansão térmica, já que, as intenções atuais procuram atingir alto desempenho sem acrescentar ao peso. E, ao mesmo tempo, buscar, conservar ou otimizar as características mecânicas [2; 3].

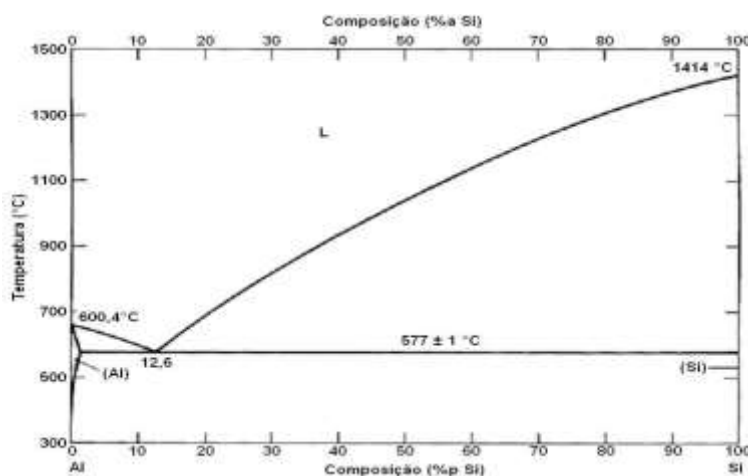


Figura 3 - Diagrama de fases Al-Si [4].

Conforme a figura 3 a liga de Alumínio Al-Si classificada como eutética é fundamental para a produção de peças técnicas por sua extraordinária resistência ao desgaste, fluidez e pequena expansão. Portanto, a composição e características mecânicas das ligas Al-Si e seu comportamento em trabalho são condicionadas especialmente do processo de fabricação, composição e tratamento térmico [5].

As ligas leves como Al-Si tem como característica alta resistência ao desgaste e são importantes para uma série de aplicações, principalmente automotivas. As ligas com alto teor de Silício melhoraram o desgaste em relação às ligas convencionais de Alumínio P/M. A distribuição de partículas de Silício e intermetálicos de metal de transição tem sido ambos para fazer uma contribuição importante para as propriedades de desgaste [6].

As ligas Al-Si para Metalurgia do Pó normalmente atingem maior resistência à temperatura ambiente 290-390MPa, que as fundidas Al-Si, 117-160MPa [7]. Além disso, o alongamento é ligeiramente melhorado e a dureza é aumentada consideravelmente, de cerca de 40-65 HRB. Particularmente, o desgaste e a estabilidade a altas temperaturas também aumentam em relação às ligas fundidas. Superiores níveis de Silício aumentam tipicamente as propriedades, mas começam a estabilizar algumas propriedades em torno de 18% Silício.

2.2 Tratamento térmico do Alumínio e de ligas Al-Si

A maioria das ligas de Alumínio é tratável termicamente, a qual tem o objetivo de melhorar as suas propriedades físico-mecânicas, pode-se citar os principais tratamentos térmicos: homogeneização, solubilização, envelhecimento, recozimento e estabilização [8]. Tratamento térmico no seu sentido mais amplo refere-se a qualquer das operações de aquecimento e de arrefecimento que são realizados com o objetivo de alterar as propriedades mecânicas, a estrutura metalúrgica, ou o estado de tensão residual de um produto de metal. Quando o termo é aplicado às ligas de Alumínio, no entanto, seu uso é frequentemente restrito às operações específicas empregadas para aumentar a resistência e a dureza das ligas [9].

A natureza das partículas da fase β e a subsequente resistência e dureza do material, dependem tanto de T2 quanto do tempo de envelhecimento nesta temperatura [10].

O tratamento térmico de T6 é ilustrado na figura 4 para uma liga de Al-Si-Cu, a temperatura recomendada é de 550°C para solubilização e 260°C para o envelhecimento. Em ligas Al-Si-Cu o tratamento da solubilização cumpre três papéis[11]:

- 1-Homogeneização da estrutura;
- 2-Dissolução de fases intermetálicas como Al-Si-Cu
- 3-Mudança da morfologia do Silício eutético.

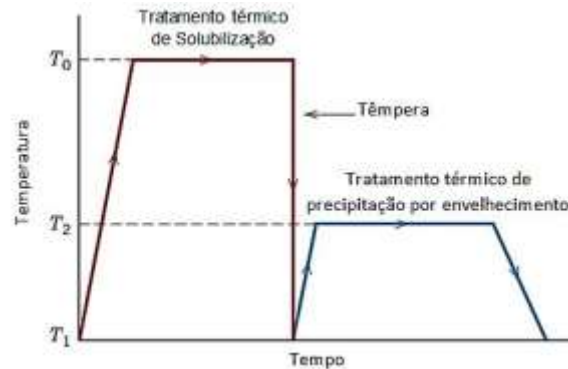


Figura 4 – Esquema geral de Temperatura x Tempo para tratamentos térmicos de Solubilização e Envelhecimento [11].

3 Metodologia

Os procedimentos utilizados para a realização do processo de Metalurgia do Pó convencional são apresentados conforme a figura 5:

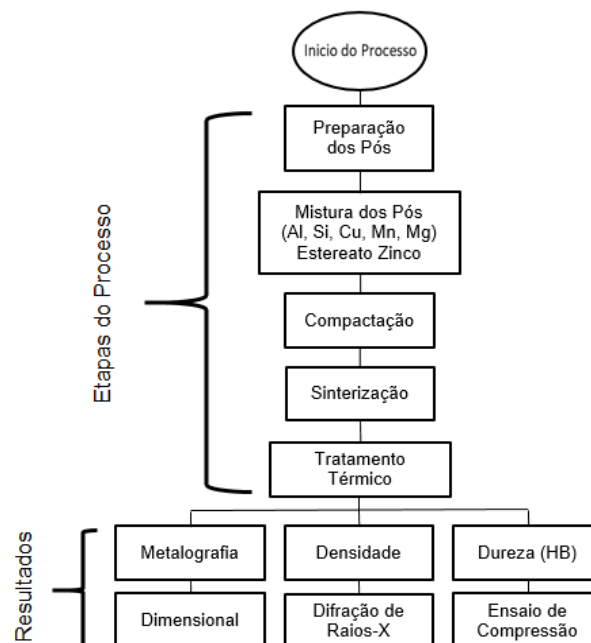


Figura 5 - Fluxo das etapas realizadas ao longo do projeto.

3.1 Mistura (Preparação e homogeneização dos pós elementares)

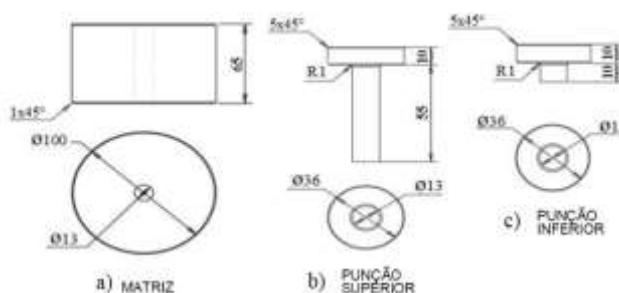
A quantidade de 10 amostras foi preparada com o balanço de massa utilizando uma balança de precisão marca Bosch SAE 200, com capacidade de medição entre 0,01g a 210g, com uma resolução de 0,0001g. As amostras foram cuidadosamente pesadas e controladas para garantir resultados mais precisos, composição química conforme a tabela 2. Nas misturas foram adicionados 1,5% de estearato de zinco no total da massa para melhorar e reduzir o atrito entre o material e a ferramenta de compactação.

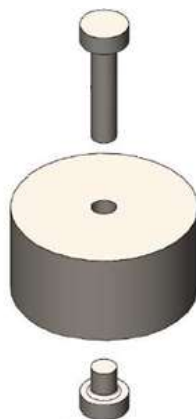
% Alumínio (Al)	% Silício (Si)	% Cobre (Cu)	% Manganês (Mn)	% Magnésio (Mg)	Total (%)
87	10	2,5	0,25	0,25	100

Tabela 2 - Composição química da liga de alumínio-silício

3.2 Geometria e ferramental para compactação das amostras

Para a compactação das amostras foi utilizada uma matriz cilíndrica de aço AISI D6 temperado (dureza 58 – 62 HRC) conforme a figura 6, a matriz foi projetada conforme as medidas dos corpos de prova, com medidas gerais externas em diâmetro externos (\varnothing) de 100 mm e 65 mm de altura (h), o material em pó foi compactado em uma ferramenta uniaxial com simples atuação, o processo de prensagem foi padronizado com todas as amostras a fim de garantir a menor variação dos resultados, para melhorar a compactação e extração foram adicionados 1,5% de lubrificante do tipo estearato de zinco. Conforme a curva de compressibilidade a pressão de compactação foi de 600 MPa. A realização da prensagem do pó se deu com a utilização de uma prensa de sistema hidráulico da marca EKA de capacidade máxima 40 Ton, modelo PHB-40, onde foram compactadas 10 amostras para cada composição química estudada, dimensões dos corpos de prova conforme figura 7.





d) Esquema do Conjunto

Figura 6 - Ferramental utilizado para o processo de compactação das amostras (CP):

a) Matriz; b) Punção Superior; c) Punção Inferior; d) Esquema do Conjunto.

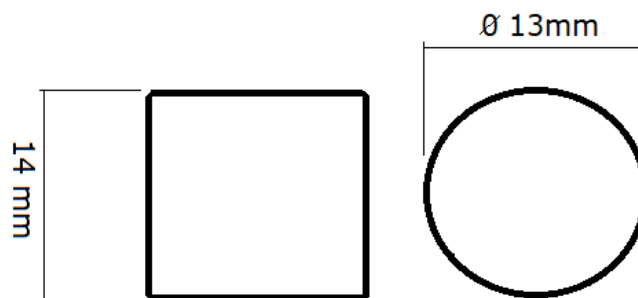


Figura 7 – Dimensional do corpo de prova.

3.3 Processo de sinterização das amostras

O processo de sinterização tem como objetivo promover a resistência mecânica do material. A sinterização utilizada neste projeto foi no estado sólido, realizada em forno do tipo mufla horizontal da marca Sanchis com capacidade até 1200°C. Ao longo do processo de sinterização, dentro do forno, o ambiente onde se encontravam as peças teve a atmosfera controlada com gás argônio.

As amostras entraram no forno em temperatura ambiente e a sinterização iniciou com uma temperatura de 100°C em 20 minutos para a retirada do lubrificante que foi utilizado para a compactação, após com uma taxa de 13,8 °C/min, atingindo a temperatura alvo de 550°C, o processo foi estabilizado nesta temperatura durante 40 minutos a fim de garantir a homogeneidade do processo. Após este período iniciou o resfriamento da amostra dentro do forno, com uma taxa de resfriamento de 14,0 °C/min. A figura 8 apresenta a curva do processo de sinterização com o tempo

e temperatura utilizada. Os parâmetros e condições aplicadas na sinterização deste trabalho foram de acordo com Cardoso [12].

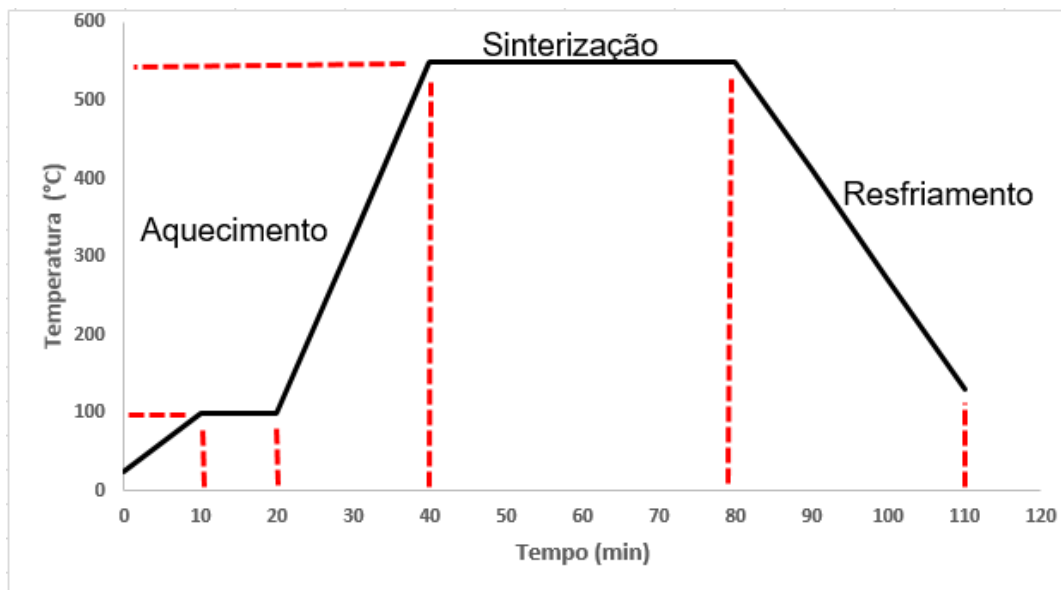


Figura 8 - Curva do processo de sinterização.

4 Resultados

4.1 Densidade dos corpos de prova

As análises de densidade deste trabalho apresentam os valores obtidos por amostras a verde e sinterizadas. Na figura 9 podem-se visualizar as curvas de densidades (ρ) dos corpos de prova à verde e sinterizado.

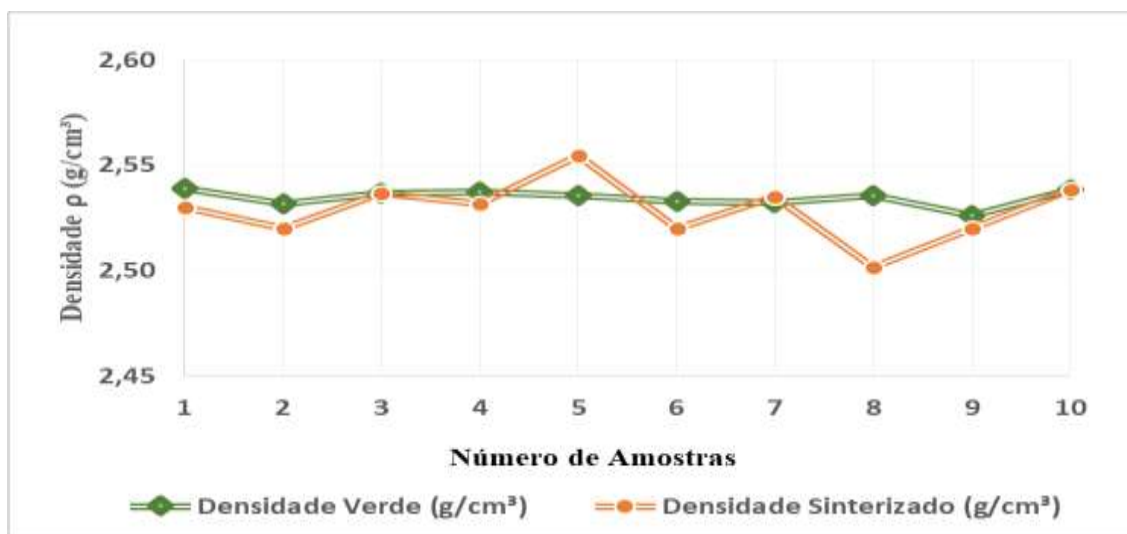


Figura 9 – Dados da densidade a verde e sinterizada das amostras.

Pela figura 9 percebe-se que após sinterização a densidade teve uma pequena redução de 0,20% em comparação com as amostras a verde, ou seja, somente compactadas. A média da densidade a verde ficou em $2,53 \text{ g/cm}^3$, enquanto a média da amostra sinterizado de $2,52 \text{ g/cm}^3$, tendo a densidade do compactado em 90,52% da densidade teórica e após sinterização de 90,32%.

4.2 Análise metalográfica das amostras de AlSi10Cu3

As imagens metalograficas apresentadas são do processo de sinterização convencional com atmosfera controlada de argônio da liga AlSi10Cu3, sendo apresentadas imagens com ataque, utilizado ácido Fluorídrico 0,5% e sem ataque químico, conforme a figura 10.

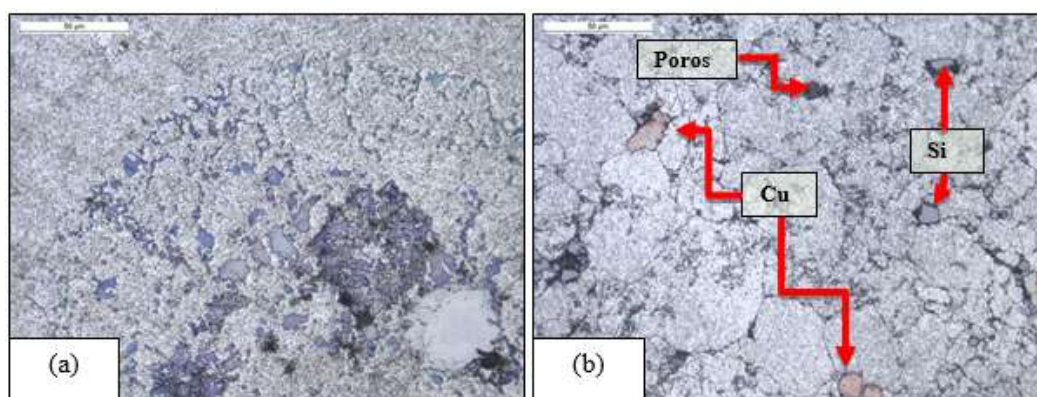


Figura 10 - Metalografia das amostras sinterizadas (A) sem ataque (B) com ataque (ácido Fluorídrico 0,5%).

A figura 10 (b) com o ataque químico apresenta a metalografia da liga AlSi10Cu3 onde é possível observar a distribuição homogênea do Silício com diferentes morfologias, observa-se que não houve a total difusão, pode-se observar também que nas regiões que apresentam o Silício há uma maior concentração de porosidade. Já com o Cobre observa-se menor grau de porosidade em seu contorno.

4.3 Análise da dureza superficial das amostras de AISi10Cu3

Os gráficos apresentam os valores médios das durezas obtidas para as amostras sinterizadas. Na Tabela 3 e na figura 11 apresenta a dureza das amostras com e sem tratamento térmico T6 da liga AISi10Cu3 que tem foco nesta pesquisa. Os valores médios de dureza sem tratamento térmico ficam com 51 HB já após aplicado o tratamento térmico T6 com parâmetros de solubilização de 480 °C por 5 horas e envelhecimento de 220 °C por também 5 horas a dureza elevou para em média 74 HB, um aumento de 45%.

Tabela 3 - Comparação da dureza do sinterizado convencional sem e com Tratamento Térmico.

Medição de Dureza Brinell (HB)									
Amostra	Antes do Tratamento Térmico				Depois do Tratamento Térmico				
	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Média	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Média	
1,0	49,1	49,0	49,2	49,1	72,5	74,2	74,1	73,6	
2,0	52,4	52,7	52,5	52,5	72,7	73,0	73,0	72,9	
3,0	54,1	55,6	54,7	54,8	75,4	76,5	76,7	76,2	
4,0	54,6	53,3	54,0	54,0	76,9	75,0	76,8	76,2	
5,0	54,6	54,0	54,3	54,3	77,0	75,4	76,9	76,4	
6,0	52,5	51,9	52,0	52,1	74,5	76,3	74,2	75,0	
7,0	53,0	57,0	55,6	55,2	77,8	74,1	77,3	76,4	
8,0	49,2	48,9	48,9	49,0	75,2	72,5	74,3	74,0	
9,0	47,4	47,1	47,4	47,3	73,2	72,5	74,0	73,2	
10,0	46,3	47,3	47,5	47,0	74,5	73,5	74,3	74,1	
Média das Médias ---->				51,5	Média das Médias ---->				74,8

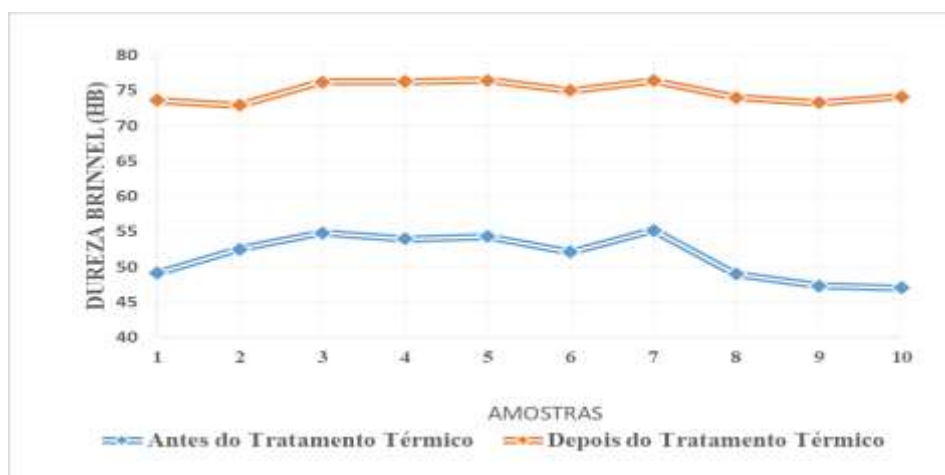


Figura 11 - Comparação da dureza do sinterizado convencional sem e com Tratamento Térmico compactação com a liga AISi10Cu3.

4.4 Análise da variação dimensional das amostras de AlSi10Cu3

A figura 12 apresenta os valores médios da variação dimensional das amostras sinterizadas pelo processo convencional. A média da variação dimensional foram de 133,91 mm² a verde, ou seja, antes da sinterização. E com uma média de 134,16 mm² após sinterizado, tendo uma expansão térmica de 0,20%. Importante ter apresentando este valor baixo de variação dimensional devido a necessidade de os componentes sofrerem algum tipo de trabalho após a sinterização.

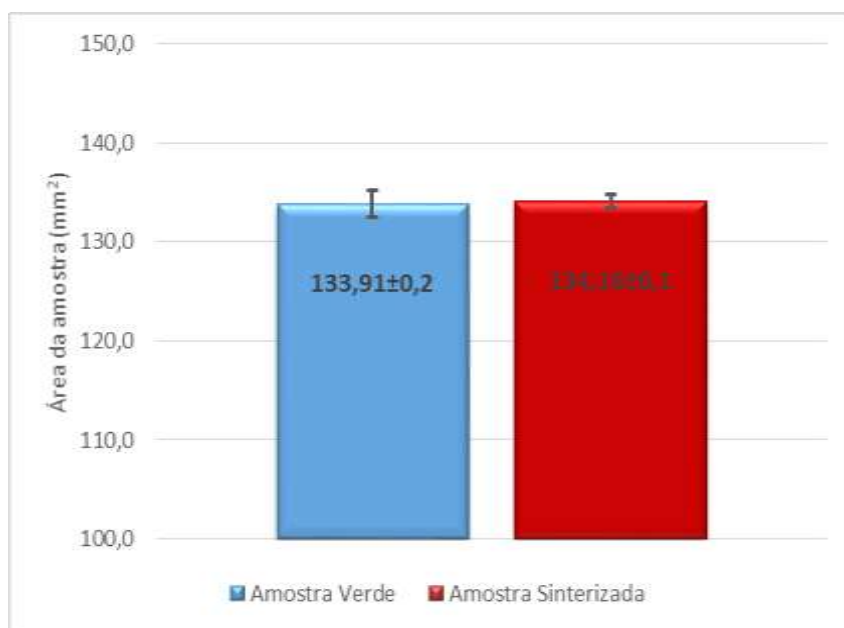


Figura 12 - Média da variação dimensional da área das amostras antes e após Sinterização.

5 Conclusões

Com este trabalho foi possível analisar o comportamento da liga de AlSi10Cu3 obtidos pela Metalurgia do Pó através da sinterização convencional, afim de obter resultados técnicos que viabilizem a utilização deste processo e produto na indústria. A densidade final das amostras após a sinterização teve uma pequena redução de 0,22%, isto se dá devido a redução dos espaços vazios no interior do material após a sinterização, ocorre uma redução das porosidades internas. Tem o melhor resultado de densidade com a liga de Alumínio sem o Silício, chegando a 94% de densidade. No processo de sinterização convencional os ensaios metalográficos apresentaram a sua estrutura de grãos bem acentuados, pode-se concluir que há um aumento das porosidades no contorno de grão onde há concentração de Silício, isto ocorre devido a formação de oxido de Silício. Os

valores médios de dureza sem tratamento térmico ficaram com 54 HB já após aplicado o tratamento térmico T6 a dureza elevou para em média 75 HB, um aumento de 38,3%.

Os valores médios da variação dimensional das amostras sinterizadas pelo processo convencional foram de 133,91 mm a verde, ou seja, antes da sinterização, e com uma média de 134,16 mm após sinterizado, tendo uma expansão térmica de 0,20%. Pode-se por fim concluir que o processo de fabricação da liga de AlSi10Cu3 é viável produzir pelo o processo de Metalurgia do Pó convencional, contudo para esta bucha no qual se precisa de uma dureza superficial de no mínimo 80 HB esta pesquisa com os parâmetros utilizados não atingiu este objetivo.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao LdTM e a Escola de Engenharia da UFRGS, pelo o uso da infra-estrutura da universidade.

Agradecimentos

Indicar pessoas que colaboraram na execução da pesquisa, auxílio técnico, instituições públicas de fomento ou privadas que financiaram a mesma.

REFERÊNCIAS

- [1] Handbook of Aluminum. Physical Metallurgy and Process. New York, V. 1, p.1269-1270, 2003
- [2] PRUDNIKOV, A. N. Production, structure, and properties of engine pistons made from transeutectic deformable silumim. Steel in Translation, Sibéria, RU, V.39, n. 5, p. 391-393, 2009.
- [3] ZEREN, M. The effect of heat-treatment on aluminum-based piston alloys. Materials and Design, Kocaeli, TR, V.28, p. 2511-2517, 2007.
- [4] AMERICAN SOCIETY FOR METALS. ASM Handbook. Powder Metal Technologies and Application. ASM International, V.7, 1998.
- [5] MA, Z.; SAMUEL, E.; MOHAMED, A. M.A.; SAMUEL, A. M.; SAMUEL, F. H.; DOTY, H. W. Influence of aging treatments and alloying additives on the hardness of Al-11Si-2.5Cu-Mg alloys. Materials and Design, Quebec, CA, V.31, n. 8, p. 3791-3803, 2010.
- [6] KONDOH K.; KOSURE T.; TAKEDA Y. Lubrication Pump Made of Rapidly Solidified Aluminum Alloy for High Performance Engine. SAE Technical Paper Series, SAE International Congress and Exposition, 1990.

- [7] CHO S. S., et al. Rapidly Solidified Aluminum Alloy Powder. Adv. Mater. Process, p. 29-31, 1997.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO. Disponível em: <<http://www.abal.org.br/site/pdf/fundamentos-do-aluminio/001.pdf>>. Acesso em: 10 Outubro 2017.
- [9] AMERICAN SOCIETY FOR METALS. ASM Handbook. Heat Treating. ASM International, V.4, 1991.
- [10] CALLISTER, W. D. J. Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Abordagem Integrada. ed. I. LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2014.
- [11] H.M. KANDIL. Recent Development in Age Hardening Behavior of Aluminum Alloys- A Review Article, In Heat Treating: Proceeding of the 21st Conference, Indianapolis, Indiana: ASM International, 2001, p. 343-351.
- [12] CARDOSO, G. S. Desenvolvimento de um processo de sinterização a plasma para o alumínio com avaliação da influência da atmosfera gasosa. Porto Alegre: (Mestrado em Engenharia em Minas, Metalúrgica e Materiais) UFRGS, 2016.

PROJETO CONCEITUAL DE UMA AERONAVE ULTRALEVE: PARTE 2 - PROJETO PRELIMINAR DA ESTRUTURA

Pires, M. A.¹
De Barba Junior, D. J.²

¹ Graduando em Engenharia Mecânica, Marcelo Antônio Pires, IFSul, e mail: maikida@gmail.com.

² Doutor, Durval João De Barba Junior, IFSul, e-mail: debarbajr@sapucaia.ifsul.edu.br.

Resumo

Este trabalho apresenta a segunda parte do desenvolvimento da viabilidade de um projeto de uma aeronave ultraleve, motorizada eletricamente e abastecida por baterias recarregáveis, o que reduz significativamente o impacto ambiental quando comparado com aeronaves com motores convencionais de combustão interna. Procurou-se demonstrar a possibilidade de construir a estrutura da aeronave com liga de alumínio comum (série 1100 a 1200, temperada) em substituição a liga de alumínio aeronáutico (6061 T6), o que pode reduzir significativamente o preço da estrutura da aeronave. Finalmente os resultados obtidos para o desempenho são semelhantes às aeronaves convencionais, com a vantagem de ter um custo energético muito menor, mas com a atual tecnologia de densidade de energia das baterias, a autonomia é bastante reduzida.

Palavras-chave: Aeronave ultraleve. Motor elétrico. Baterias recarregáveis. Células solares fotovoltaicas.

CONCEPTUAL DESIGN OF AN ULTRALIGHT AIRCRAFT: PART 2 - PRELIMINARY STRUCTURE PROJECT

Abstract

This paper presents the second part of the feasibility study of an electrically powered, ultralight aircraft fueled by rechargeable batteries, which significantly reduces the environmental impact when compared to aircraft with conventional internal combustion engines. It was attempted to demonstrate the possibility of constructing the structure of the aircraft with common aluminum alloy (series 1100 to 1200, tempered) replacing the aeronautical aluminum alloy (6061 T6), which can significantly reduce the price of the aircraft structure. Finally the results obtained for the performance are similar to the conventional aircraft, with the advantage of having a much lower energy cost, but with the current technology of energy density of the batteries, the autonomy is quite reduced.

Key words: Ultralight aircraft. Electric motor. Rechargeable batteries. Photovoltaic solar cells.

1 INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é desenvolver um projeto preliminar da estrutura de um ultraleve com sistema propulsor elétrico abastecido por baterias, apresentando suas principais características de desempenho.

Delimita-se o trabalho com a seguinte questão: Como dimensionar uma aeronave recreativa ultraleve fazendo uso de materiais não aeronáuticos e de

motorização elétrica abastecida por baterias recarregáveis? Visto que, atualmente, os projetos de aeronaves de recreação estão passando por uma transição de motorização, muitos deles substituindo os motores de combustão interna, adaptados do uso automotivo para o aeronáutico, por motores elétricos alimentados por baterias recarregáveis, minimizando os custos energéticos e impacto ambiental.

Buscando minimizar os custos da proposta, os materiais adotados, para o projeto de construção do ultraleve, serão de padrão não aeronáutico, mesmo sabendo que implicará em um coeficiente de segurança maior e conseqüentemente maior massa.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Este capítulo apresenta o método de obtenção das estimativas iniciais dos principais requisitos e restrições para o desenvolvimento do projeto preliminar da estrutura do ultraleve, e para isso, fez-se uso das equações apresentadas por Rodrigues⁽¹⁾ e Anderson Jr⁽²⁾ que foram adaptadas para serem empregadas neste projeto.

Velocidade de estol, envergadura e alongamento da asa: supondo que a velocidade de estol é V_{estol} , a massa total é m , o coeficiente máximo de sustentação aerodinâmico é CL . A área da asa (S) é determinada pela Equação 1.

$$V_{estol} = 100 \times (m / CL \times S \times 48,2)^{1/2} \quad (1)$$

Considerando a carga de alar CA . A área da asa (S) pode ser determinada pela Equação 2.

$$CA = m / S \quad (2)$$

Assumindo que a corda média aerodinâmica da asa é CMA . A envergadura da asa (B) pode ser determinada pela Equação 3.

$$B = S / CMA \quad (3)$$

O alongamento da asa (AR) pode ser determinado pela Equação 4.

$$AR = B / CMA \quad (4)$$

Empenagem horizontal: supondo que o volume da empenagem horizontal é V_h e a distância entre a asa e a empenagem horizontal é L_h . A área da empenagem horizontal (S_h) pode ser determinada pela Equação 5.

$$S_h = (V_h \times S) / (L_h / C) \quad (5)$$

Admitindo que a corda média aerodinâmica da empenagem horizontal é C_h . O alongamento da empenagem horizontal (AR_h) pode ser determinado pela Equação 6.

$$AR_h = S_h / C_h \quad (6)$$

Para determinar a posição do centro aerodinâmico em relação à frente da aeronave (X_{AC}), determina-se o alongamento médio ($AR_{médio}$) e o coeficiente (N) pelas Equações 7 e 8.

$$AR_{médio} = [(3 \times AR) + AR_h] / 4 \quad (7)$$

$$N = 0,1 + (0,05 \times AR_{médio}) \quad (8)$$

Considerando que a distância da empenagem horizontal até a frente da aeronave é X_h . A posição do centro aerodinâmico em relação a frente da aeronave é

determinado pela Equação 9.

$$X_{AC} = [(S \times C) + (N \times X_h \times S_h)] / [S + (N \times S_h)] \quad (9)$$

Momento do motor: admitindo que a potência do motor seja P. O empuxo do motor (E_{motor}) é determinado pela Equação 10.

$$E_{motor} = 2,3 \times P \quad (10)$$

Supondo que a distância do motor ao centro de gravidade é b. O momento do motor (M_{motor}) é determinado pela Equação 11.

$$M_{motor} = b \times E_{motor} \quad (11)$$

Momento gerado pelo flape: assumindo que a corda média aerodinâmica é CMA e o coeficiente do momento de arfagem do perfil é CM_{flape} . O momento gerado pelo flape (M_{flape}) é determinado pela Equação 12.

$$M_{flape} = CM_{flape} \times (V_{estol} / 100)^2 \times CMA \times S \times 48,2 \quad (12)$$

Determinação da maior força suportada pela empenagem horizontal: admitindo o coeficiente de sustentação da empenagem horizontal é CL_h . A força máxima suportada pela empenagem ($F_{máx.h}$) é dada pela equação 13.

$$F_{máx.h} = CL_h \times (V_{estol}/100)^2 \times S_h \times 48,2 \quad (13)$$

Determinação do passeio do CG (Centro de Gravidade): para determinar o passeio do CG, calcula-se o somatório dos momentos (Equação 14), sendo o momento do CG a frente do CA (Centro Aerodinâmico) igual a $M_{CG.frente}$ e o momento da empenagem horizontal M_h .

$$M_{flape} + M_{CG.frente} + M_h = 0 \quad (14)$$

Para determinar o passeio do CG com motor, acrescenta-se o momento com motor (M_{motor}), pois existe uma velocidade maior de fluxo de ar sobre a empenagem horizontal, que resulta na Equação 15.

$$M_{motor} + M_{flape} + M_{CG.frente} + M_h = 0 \quad (15)$$

Determinando a empenagem vertical: assumindo o volume da empenagem vertical (V_v) e a distância da asa a empenagem vertical (L_v), obtém-se a área da empenagem vertical (S_v), com a Equação 16.

$$S_v = V_v \times [(S_{asa} \times B) / L_v] \quad (16)$$

Determinação do perfil da asa: determina-se o coeficiente de sustentação aerodinâmica em velocidade de cruzeiro (CL_c), sabendo a velocidade de cruzeiro (V_c) utilizando a Equação 17.

$$CL_c = m / [(V_c / 100)^2 \times S \times 48,2] \quad (17)$$

Para determinar o camber da asa, utiliza-se a Equação 17.

$$\text{Camber} = \{[(AR + 2) \times CL_c] / (2 \times \pi \times AR)\} \times 50 \quad (18)$$

O número de Reynolds (Re) do perfil da asa é determinado pela Equação 19.

$$Re = 19.500 \times CMA \times V_c \quad (19)$$

A velocidade máxima de manobras: sendo N o fator de carga suportável, a velocidade máxima de manobras (V_A) é obtida pela Equação 20.

$$V_A = V_{estol} \times N^{1/2} \quad (20)$$

Velocidade máxima estrutural: admitindo a velocidade a nunca exceder (V_{NE}), a velocidade máxima estrutural (V_D), pode ser obtida pela Equação 21.

$$V_D = V_{NE} / 0,9 \quad (21)$$

Velocidade de estol para voo invertido: sabendo o coeficiente de sustentação máximo do perfil da asa ($CL_{m\acute{a}x}$), o coeficiente de sustentação máximo do perfil da asa para voo invertido ($CL_{m\acute{a}x.inv}$) é obtido pela Equação 22.

$$CL_{m\acute{a}x.inv} = CL_{m\acute{a}x} / 1,4 \quad (22)$$

Para determinação da velocidade de estol para voo invertido (V_{SI}), utiliza-se a Equação 23.

$$V_{SI} = 100 \times [m / (CL_{m\acute{a}x.inv} \times S \times 48,2)]^{1/2} \quad (23)$$

Fator de carga máximo: sabendo a velocidade de cruzeiro (V_c) e a velocidade de estol (V_{estol}), o fator de carga máximo (N) é determinado pela Equação 24.

$$N = (V_c / V_{estol})^2 \quad (24)$$

Velocidade da aeronave para atingir o fator de segurança: conhecendo o fator de segurança máximo da aeronave (F_s), obtém-se a velocidade máxima suportada (V_{fs}) utilizando a Equação 25.

$$V_{fs} = 100 \times [(m \times F_s) / (CMA \times S \times 48,2)]^{1/2} \quad (25)$$

Momento da asa: supondo que o coeficiente do momento de arfagem do perfil é CM . O momento gerado pela asa (M_{asa}) é determinado pela Equação 26.

$$M_{asa} = CM \times (V_{fs} / 100)^2 \times CL \times S \times 48,2 \quad (26)$$

Momento do CG a frente do AC: conhecendo a distância entre o CG e o AC (d_{CG-AC}), a massa da aeronave sem a asa ($m - m_{asa}$) e o fator de segurança máximo (F_s), o momento do CG a frente do AC (M_{CG-AC}) é determinado pela Equação 27.

$$M_{CG-AC} = d_{CG-AC} \times (m - m_{asa}) \times F_s \quad (27)$$

A força máxima exercida pela empenagem horizontal: a força exercida pela empenagem horizontal (F_h) para equilibrar este momento total (M_{total}), sabendo a distância da asa a empenagem horizontal (L_h), é determinada pela Equação 28.

$$F_h = M_{total} / L_h \quad (28)$$

A força máxima exercida pela empenagem vertical: a força exercida pela empenagem horizontal (F_v), sabendo a distância área da empenagem vertical (S_v) e o coeficiente de sustentação do perfil da empenagem vertical (CL_v), é determinada pela Equação 29.

$$F_v = (V_{fs} / 100)^2 \times CL_v \times S_v \times 48,2 \quad (29)$$

Determinação do diâmetro interno do tubo (fuselagem): sabendo o diâmetro externo do tubo (D_e) e o momento resistente do material (M_{res}), determina-se o diâmetro interno do tubo (D_i) utilizando a Equação 30.

$$D_i = \{D_e^4 - [(D_e \times M_{res}) / 0,098]\}^{0,25} \quad (30)$$

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados para o **Esboço do Projeto** foram fundamentados nos seguintes requisitos e restrições obtidos com base nas propostas de valores iniciais que foram determinados a partir do **Projeto Preliminar**, dentro das normas da ANAC⁽³⁾ e de valores médios para a categoria de ultraleve em projetos consagrados⁽⁴⁾: (1) Utilizar materiais não aeronáuticos; (2) Velocidade máxima estrutural de 160 km/h; (3) Velocidade máxima de 145 km/h; (4) Velocidade máxima de cruzeiro de 130 km/h; (5) Estrutura de alumínio de liga não aeronáutica; (6) Massa máxima vazia de 350 kg; (7) Configuração biplace, tipo lado a lado; (8) Desprovida de carenagem; (9) Capaz de suportar 4 Gs; (10) Não acrobática; (11) Carga de alar 35 kgf/m²; (12) Massa total de 500 kg; (13) Velocidade de estol de 65 km/h; (14) Monomotor elétrico com baterias recarregáveis; (15) Asa alta; (16) Hélice impulsora (“soprada” na empenagem); (17) Distância asa/empenagem horizontal maior que 3 CMA; (18) Trem de pouso triciclo elevado; (19) Empenagem cruciforme; e (20) Asa retangular com flape.

A Figura 1 representa o esboço de um ultraleve convencional de Gonçalves⁽⁵⁾ que será adotado como base para o desenvolvimento do pré-projeto.

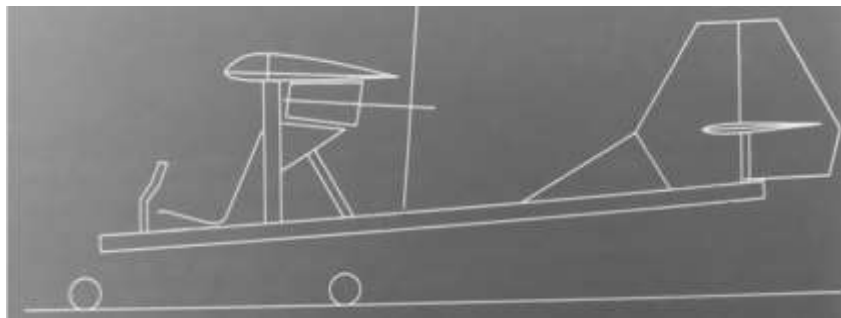


Figura 1: Proposta inicial do pré-projeto, adaptado de Gonçalves⁽⁵⁾.

Supondo que a velocidade de estol é $V_{estol} = 65$ km/h, a massa total é $m = 500$ kg, o coeficiente máximo de sustentação aerodinâmico é $CL = 1,8$. A área da asa (S) é determinada pela Equação 1 e resulta em $S = 13,6$ m².

Segundo RBHA⁽⁶⁾ a carga de alar deve ser $CA = 35$ kg/m². A área da asa também pode ser determinada pela Equação 2 e resulta em $S = 14,3$ m².

Substituindo este novo resultado na Equação 1, o novo valor para velocidade de estol e resulta em $V_{estol} = 63,5$ km/h.

Considerando que a corda média aerodinâmica da asa é $CMA = 1,6$ m. A envergadura da asa (B) pode ser determinada pela Equação 3 e resulta em $B = 8,94$ m.

O alongamento da asa (AR) pode ser determinado pela Equação 4 e resulta em $AR = 5,59$.

Empenagem horizontal (provisório): supondo que o volume da empenagem horizontal é $V_h = 0,6$ e a distância entre a asa e a empenagem horizontal é $L_h = 4,8$

m. A área da empenagem horizontal (S_h) pode ser determinada pela Equação 5 e resulta em $S_h = 3,28 \text{ m}^2$.

Admitindo que a corda média aerodinâmica da empenagem horizontal é $CMA_h = 1 \text{ m}$. O alongamento da empenagem horizontal (AR_h) pode ser determinado pela Equação 6 e resulta em $AR_h = 3,28$.

Como a empenagem horizontal proposta é construída com material não aeronáutico, torna-se interessante reduzir a envergadura da empenagem horizontal para $B_h = 2,6 \text{ m}$. Isto resulta que a corda média aerodinâmica e o alongamento da empenagem horizontal serão obtidos pelas Equações 3 e 4, e são $CMA_h = 1,26 \text{ m}$ e $AR_h = 2,06$.

Para determinar a posição do centro aerodinâmico em relação à frente da aeronave (X_{AC}), determina-se o alongamento médio ($AR_{\text{médio}}$) e o coeficiente (N) que serão obtidos pelas Equações 7 e 8, e são $AR_{\text{médio}} = 4,71$ e $N = 0,34$.

Supondo que a distância da empenagem horizontal até a frente da aeronave é $X_h = 5,81 \text{ m}$, a posição do centro aerodinâmico, em relação à frente do ultraleve, é determinado pela Equação 9 e é $X_{AC} = 1,89 \text{ m}$. O centro de gravidade da aeronave (CG) tem que ficar a frente do X_{AC} .

A Figura 2 apresenta o pré-projeto com as dimensões preliminares calculadas.

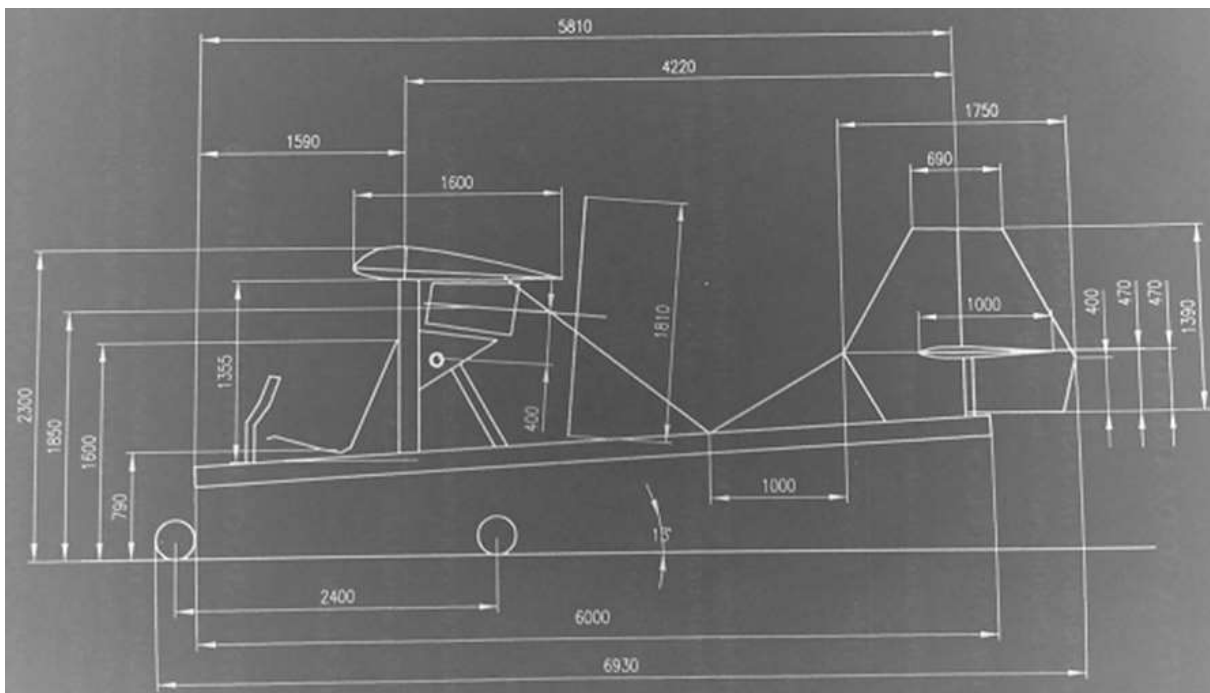


Figura 2: Representa as dimensões iniciais (em milímetros) para o pré-projeto, adaptada de Gonçalves⁽⁵⁾.

Momento do motor: considerando que a potência do motor é $P = 53\text{hp}$. O empuxo do motor (E_{motor}) é determinado pela Equação 10 e resulta em $E_{\text{motor}} = 122 \text{ kgf}$.

Assumindo que a distância do motor ao centro de gravidade é $b = 0,4 \text{ m}$. O momento do motor (M_{motor}) é determinado pela Equação 11 e resulta em $M_{\text{motor}} = - 49 \text{ kgf.m}$.

Momento do flape: utilizando a Equação 12 e o coeficiente do momento de arfagem do perfil com flape é $CM_{\text{flape}} = - 0,3$. Determina-se o momento do flape, que é $M_{\text{flape}} =$

- 133,4 kgf.m.

Determinação do maior valor suportado pela empenagem horizontal: utilizando a Equação 13, admitindo o coeficiente de sustentação da empenagem horizontal como sendo $CL_h = 0,8$, determina-se a força máxima suportada pela empenagem horizontal, $F_{máx.h} = 50,2$ kgf.

Como o motor estará soprando sobre o empenagem horizontal, tem-se uma velocidade maior do fluxo de ar, adotando-se a velocidade de fluxo de ar de 85 km/h sobre a empenagem horizontal, utilizando a Equação 13 tem-se $F_{máx.h.motor} = 91,4$ kgf.

Determinação do passeio do CG: utilizando a Equação 14, determina-se a distância entre o CG e o CA, obtendo-se $D_{CG-AC} = 0,141$ m = 141 mm (sem motor)

O momento com motor e velocidade de fluxo de ar de 85 km/h sobre a empenagem horizontal, que utilizando a Equação 15, resulta em $D_{CG-AC} = 0,43$ m

O passeio permitido pelo auxílio do motor “soprado” na empenagem horizontal foi benéfico, aumentando a D_{CG-AC} . Porém o passeio sem motor é pequeno, por isso é interessante alterar o valor da empenagem horizontal de forma a ter um passeio maior. Portanto altera-se o valor das medidas da empenagem horizontal para:

$$B_h = 3,2 \text{ m}$$

$$CMA_h = 1,3 \text{ m}$$

$$AR_h = 2,46$$

$$S_h = 4,2 \text{ m}^2$$

Recalculando o centro aerodinâmico (AC): utilizando as Equações 7 e 8, obtém-se novos $AR_{médio} = 4,8$ e $N = 0,34$. Substituindo os novos valores na Equação 9, obtém-se $X_{AC} = 1,97$ m. Este novo X_{AC} está mais recuado que o anterior, pois a empenagem horizontal é maior.

Determinação do novo maior valor suportado pela empenagem horizontal: admitindo o novo valor de S_h , utilizando-se a Equação 13, determina-se o novo valor da $F_{máx.h} = 64,7$ kgf (sem motor), e com motor $F_{máx.h.motor} = 115,9$ kgf.

Determinação do novo passeio do CG: empregando a Equação 14, determina-se a distância entre o CG e o CA, obtendo-se $D_{CG-AC} = 0,264$ m (sem motor). Portanto o valor é melhor, quase o dobro do anterior.

O passeio com margem de segurança 20% terá 211 mm e irá de 1,73 m até 1,94 m da DATUN (linha de referência dianteira, Figura 3), portanto o passeio se encontra entre 16,1% e 47,1% da CMA.

Determinando a empenagem vertical: aplicando o valor volume da empenagem vertical $V_v = 0,06$ para uma aeronave bastante lenta e notando que a distância entre a asa e a empenagem vertical é $L_v = 4,12$ m, utilizando a Equação 16, obtém-se a área da empenagem vertical $S_v = 1,86 \text{ m}^2$.

Determinação do perfil da asa: considerando a velocidade de cruzeiro $V_c = 130$ km/h, obtém-se, utilizando a Equação 17, o coeficiente de sustentação em velocidade de cruzeiro $CL_c = 0,43$. A partir desta informação, utiliza-se a Equação 18 e obtém-se o camber da asa $Camber = 4,65$ %.

Com o resultado do camber se escolheu o perfil que foi desenvolvido para ultraleves e apresenta um camber adequado, o GA 30U-615⁽⁷⁾.

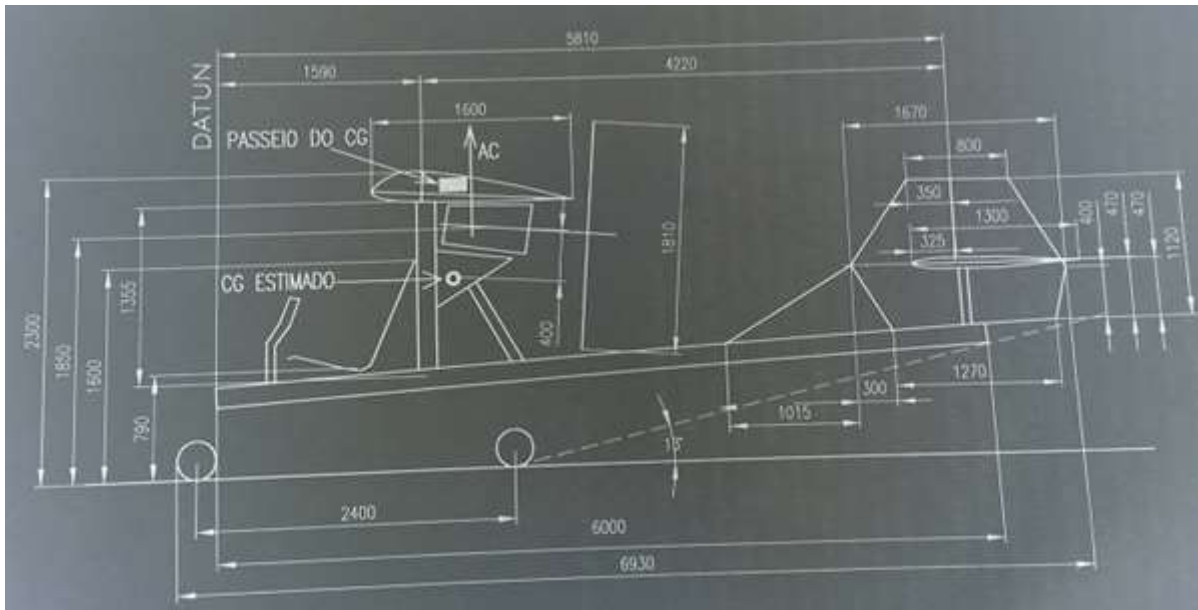


Figura 3: Desenho lateral do projeto com as dimensões em milímetros, adaptado de Gonçalves⁽⁵⁾.

Utilizando a Equação 19, obtém-se o número de Reynolds do perfil da asa para velocidade de estol $Re = 1,98 \times 10^6$ e para a velocidade máxima de cruzeiro $Re = 4,52 \times 10^6$, estes resultados do número de Reynolds estão dentro do intervalo desejável de fluxo laminar, pois acima de 1×10^7 o fluxo é turbulento.

Os dados aerodinâmicos do perfil GA 30U-615 da asa foram retirados de Riplett⁽⁷⁾ obtendo o coeficiente de sustentação máximo $Cl_{m\acute{a}x} = 1,6$ (informação muito importante para os cálculos do desempenho).

Cálculo do diagrama V x N: por meio do diagrama VxN de Gonçalves⁽⁵⁾ apresenta o número de G em função da velocidade, que a aeronave pode suportar, tanto em voo normal quanto em voo invertido. Recalculando a velocidade de estol, utilizando novamente a Equação 1, com o novo valor do coeficiente de sustentação máximo do perfil da asa, obtém-se $V_{estol} = 67,3$ km/h. O resultado maior que o inicial de 63,5 km/h, pois o CL reduziu para 1,6. Porém o acréscimo de flap deverá elevar o $CL_{m\acute{a}x}$ para 2,4, conforme valores típicos do coeficiente de sustentação máximo para diversos tipos de aparelhos de alta sustentação, adaptado de Anderson Jr.⁽²⁾. Portanto a velocidade de estol com flap $V_{estol+flape} = 55$ km/h. A velocidade máxima de manobras, para um fator de carga $N = 4$ G é obtida pela Equação 20, resultando em $V_A = 134,7$ km/h. Velocidade de cruzeiro (V_C) definida no início como 130 km/h. Velocidade que nunca exceder (V_{NE}), definida pela regulamentação de ultraleves, com sendo 100 milhas, $V_{NE} = 160$ km/h. Velocidade máxima estrutural (V_D) pode ser obtida pela Equação 21, $V_D = 177,7$ km/h. Como a V_{NE} está determinada pela norma, faz-se $V_D = V_{NE}$. A velocidade máxima de manobra de voo invertido (V_E) e a velocidade de cruzeiro de voo invertido (V_F) são iguais a 80% de V_D e V_C , portanto, $V_E = 128$ km/h e $V_F = 104$ km/h. A velocidade mínima de manobra invertida (V_G) é 40 % superior a velocidade de estol, resultando em $V_G = 95,2$ km/h.

Admitindo o coeficiente de sustentação máximo do perfil da asa $CL_{m\acute{a}x} = 1,6$, o coeficiente de sustentação máximo em voo invertido, obtido pela Equação 22, é $CL_{m\acute{a}x.inv} = 1,14$.

Para determinação da velocidade de estol para voo invertido (V_{SI}), utiliza-se a Equação 23, resultando em $V_{SI} = 80$ km/h Como a V_{NE} é definida por norma regulamentar para ultraleves, a V_C normalmente varia entre 70 e 80% da V_{NE} ,

resultando em $V_c = 112$ a 128 km/h, aproximadamente, 110 a 130 km/h. Para esta situação o G máximo que poderá ser imposto a aeronave, será utilizada a Equação 24, obtendo-se $N = 2,67$ Gs, para V_c de 110 km/h e $N = 3,73$ Gs, para V_c de 130 km/h.

Cargas no cone de cauda (simulação): a Figura 4 apresenta as dimensões principais para realização dos cálculos no cone de cauda da aeronave.

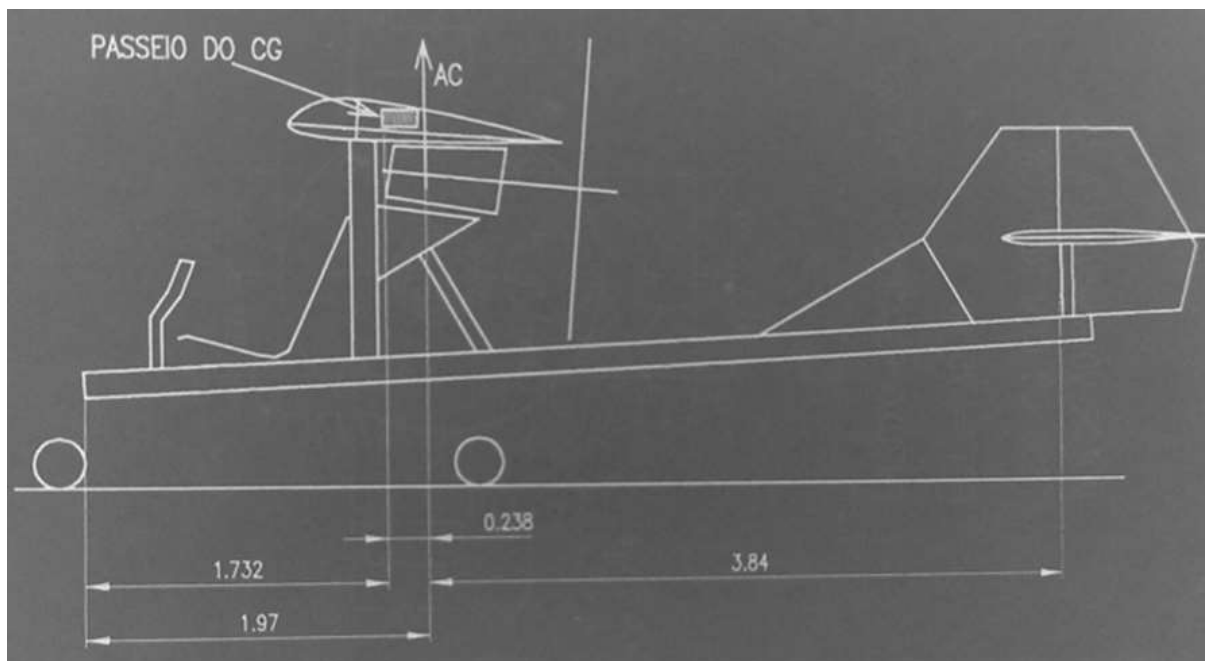


Figura 4: Desenho das dimensões principais, em milímetros, para determinar as cargas na cauda, adaptado de Gonçalves⁽⁵⁾.

O Fator de segurança máximo adotado será $F_s = 6,9$ Gs, sendo 4 Gs o fator de carga desejado, mais 50% de margem de segurança (2 Gs) e mais 15% pelo material não aeronáutico ($0,9$ Gs).

Velocidade máxima da aeronave, para atingir o fator de segurança, é determinada pela Equação 25 e resulta em $V_{fs} = 176,9$ km/h.

O CM do perfil para o $CL = 1,6$ é de $0,074$, mas adota-se o CM médio, entre o CM da asa e o CM do flape, obtendo-se $CM = -0,187$. O momento da asa na velocidade máxima para atingir o fator de segurança é determinado pela Equação 26 e resulta em $M_{asa} = -645,2$ kgf.m.

Sabendo que a distância entre o CG e o AC é $d_{CG-AC} = 0,238$ m e como a asa sustenta a aeronave, retira-se a massa estimada da asa da massa total da aeronave ($m - m_{asa}$) = 450 kg, o momento do CG a frente do AC é determinado pela Equação 27 e resulta em $M_{CG-AC} = -739$ kgf.m.

Supondo que o momento do motor atinja até 120 kgf.m (mais do que o dobro do projetado, pois é comum aumentar a potência do motor, com a evolução do projeto). O momento total resultante é a soma dos momentos da asa, do CG a frente do AC e do motor, resulta em $M_{total} = -1.504,2$ kgf.m.

Conhecendo a distância entre a asa e a empennagem horizontal é $d_{asa-h} = 3,84$ m. A força máxima exercida pela empennagem horizontal, para equilibrar este momento total, é obtida pela Equação 28 e resulta em $F_h = 391,8$ kgf.

Admitindo um coeficiente de sustentação para empennagem vertical igual a $CL_v = 0,8$. A força máxima exercida pela empennagem vertical será obtida pela

Equação 29 e resulta em $F_v = 224,4$ kgf.

Como as forças nas empenagens são perpendiculares (F_h e F_v), para obter a força resultante, utiliza-se o teorema de Pitágoras, obtendo-se $R = 451,5$ kgf.

Calculando o tubo da fuselagem: para determinar o aumento da massa pela substituição da liga de alumínio de uso aeronáutico por uma liga de alumínio comum (série 1100 a 1200, temperado), e admitindo-se que a força aplicada sobre a empenagem é de 451,5 kgf, calcula-se as reações de apoio RA e RB, de acordo com Gonçalves⁽⁵⁾, e se obtêm $RA = 802,7$ kgf e $RB = 1.254,2$ kgf.

O momento máximo ocorre no ponto B em relação a empenagem horizontal e resulta em $M_{RB} = 451,5 \times 3,2 = 1.444,8$ kgf.m, que em milímetros é 1.444.800 kgf.mm. Admitindo-se que a liga de alumínio comum tem tensão de escoamento de 12,7 kgf/mm². O momento resistente ou módulo de flexão é $M_{res-1100} = 1.444.800/12,7 = 113.763,8$ mm³. Utilizando-se a liga de alumínio 6061 T6, utilizada em estruturas aeronáuticas, com tensão de escoamento de 24,5 kgf/mm². Obtém-se $M_{res-6061} = 1.444.800 / 24,5 = 58.971,4$ mm³.

Optando-se por um tubo de 6 polegadas de diâmetro externo $D_e = 152,4$ mm. Para determinar as dimensões do diâmetro interno do tubo utiliza-se a Equação 30, que resulta para o alumínio comum, $D_{i-1100} = 137,7$ mm, resultando em uma espessura de parede de 7,35 mm. Para a liga de alumínio 6061 T6, utilizando a Equação 30, obtém-se o diâmetro interno $D_{i-6061} = 145,5$ mm, resultando em uma espessura de parede de 3,45 mm.

Conhecendo a massa específica do alumínio. O tubo de alumínio comum teria massa de aproximadamente 52 kg e o tubo de liga de alumínio 6061 T6 teria uma massa de aproximadamente de 26 kg para uma barra de 6 m. Portanto resultaria no dobro da massa para o tubo de alumínio comum comparado com a liga 6061 T6. Porém pode-se reduzir esta massa do tubo de alumínio comum usando um diâmetro maior de tubo, por exemplo, um de 8 polegadas de diâmetro (203,2 mm), e recalculando tem-se com a Equação 30, obtém-se $D_{i-1100} = 196,8$ mm e espessura de 3,2 mm.

Com o aumento do diâmetro, conseqüentemente ocorre a redução da espessura, resultando em uma massa de aproximadamente 26 kg para uma barra de 6 m, que é exatamente o mesmo valor de massa para um tubo de 6 polegadas da liga de alumínio 6061 T6. Portanto, neste caso pode-se compensar a redução da resistência da liga de alumínio comum por uma pequena mudança nas dimensões do projeto.

Projeto do sistema de energia, adaptado de Souza⁽⁸⁾: o motor escolhido foi o REMY HVH250-090⁽⁹⁾, sendo sua escolha devido à alta relação peso potência, quando comparada a um motor a combustão, e também por sua disponibilidade no mercado, Tendo em vista que o projeto possui uma demanda de 40 kW de potência (aproximadamente 53,6 hp), pode-se utilizar uma alimentação de 220V visando uma diminuição na corrente necessária.

As curvas de potência e torque⁽⁹⁾ são importantes para a escolha da hélice a ser empregada em conjunto com o motor escolhido. Neste caso para 200 V, a partir de 1.800 rpm até um pouco mais de 2.000 rpm, o motor selecionado tem capacidade de entregar 40 kW de potência em regime contínuo, equivalente a aproximadamente 53,6 hp. A corrente elétrica para manter esta potência tem que ser de 200 A⁽⁹⁾.

O Software JavaProp, desenvolvido por Hepperle⁽¹⁰⁾, calcula a curva de tração da hélice em função da velocidade, partindo de informações básicas fornecidas pelo

projetista. As informações são inseridas no software, onde o mesmo realiza a simulação de uma hélice utilizando perfis Clark Y e calcula todas as características de desempenho. Para tal supõe-se 3 pás, rotação de 1.800 rpm, diâmetro da hélice 1,7 m e potência de 40 kW, variando a velocidade de 0 até 50 m/s.

Para obter a curva de tração da hélice disponível (empuxo), também foi realizada uma análise no JavaProp⁽¹⁰⁾, fixando-se o torque disponível em 200 N.m. A Figura 5 apresenta o gráfico resultante da análise para a tração (empuxo) em função da velocidade da aeronave, onde percebe-se a redução do empuxo com a elevação da velocidade.

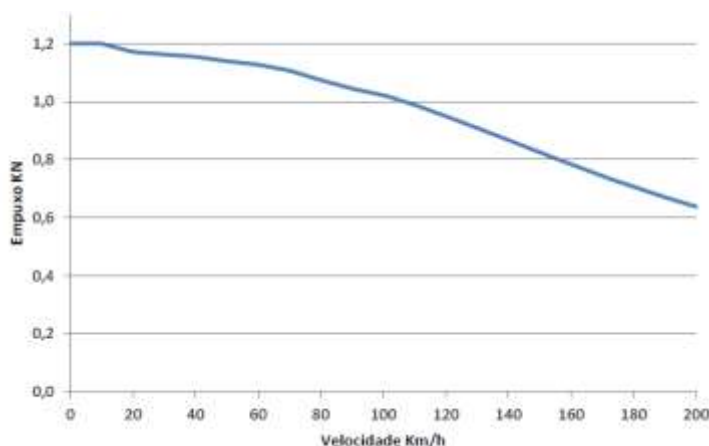


Figura 5: Gráfico de tração disponível (empuxo) em função da velocidade⁽¹⁰⁾.

Características da bateria: a fonte da bateria é selecionada com base na energia específica, potência específica e faixa de tensão operacional da bateria. A Tabela 1 mostra diferentes tipos de bateria, nesta comparação, a bateria Li-Po parece oferecer todas as características desejáveis, porém são as mais caras, adaptado de Srilatha⁽¹¹⁾.


Tabela 1: Tipos de baterias e suas principais características⁽¹¹⁾.

Battery	Theoretical Specific Energy (W-h/kg)	Practical Specific Energy(W-h/kg)	Specific Power(W/kg)	Cell Voltage(V)
Pb/acid	170	50	180	1.2
Ni/Cd	240	60	150	1.2
NiMH	470	85	400	1.2
Li-ion	700	135	340	3.6
Li-Po	735	220	1900	3.7
LiS	2550	350	700	2.5

A empresa A123 Systems⁽¹²⁾, atualmente produz baterias para o mercado de veículos elétricos e dentre sua gama de produtos tem a célula AMP20 de Lítio-Íon

(Li-íon) que possui as especificações apresentadas na Figura 6.

Da especificação do motor elétrico a ser utilizado obtém-se o requisito de um sistema de energia com tensão de alimentação de no mínimo 200 V, sendo que cada célula AMP20 possui tensão nominal de 3,3 V. Será preciso 65 células ligadas em série (totalizando 214,5 V), para formar um pacote. Isto resulta em uma massa de 32,24 kg por pacote. Serão utilizados 3 pacotes ligados em paralelo que somarão 96,7 kg com capacidade de fornecer 58,5 Ah. Assim, a aeronave contará com 12,5 kWh, disponíveis para a execução de cada missão.



AMP20 Cell Specifications	
Cell Dimensions (mm)	7.25 x 160 x 227
Cell Weight (g)	496
Cell Capacity (minimum, Ah)	19.5
Energy Content (nominal, Wh)	65
Discharge Power (nominal, W)	1200
Voltage (nominal, V)	3.3
Specific Power (nominal, W/kg)	2400
Specific Energy (nominal, Wh/kg)	131
Energy Density (nominal, Wh/L)	247
Operating Temperature	-30°C to 55°C
Storage Temperature	-40°C to 60°C

Figura 6: Especificações Célula AMP20 produzida por A123 System⁽¹²⁾.

Cobertura da asa com células solares fotovoltaicas: para aumentar a autonomia da aeronave e diminuir o tempo de recarga, pode-se cobrir a superfície superior da asa com painéis com células solares fotovoltaicas flexíveis. São facilmente encontradas no mercado em tamanhos de aproximadamente 1 m de comprimento por 0,5 m de largura, portanto com 0,5 m², que fornecem a potência de 100 W, possuem massa de 2,4 kg e preço de aproximadamente R\$ 1.000,00.

Considerando que a envergadura da aeronave é de aproximadamente 9 m e corda média de 1,6 m possibilita a cobertura da asa com 16 painéis fotovoltaicos, resultando em 1.600 W e o acréscimo de massa de 38,4 kg. Também é possível acrescentar mais 2 painéis na superfície superior da empenagem horizontal, contribuindo com mais 200 W e acrescentando mais 4,8 kg de massa.

Portanto, pode-se distribuir 18 painéis de células solares fotovoltaicas flexíveis nas superfícies superiores das asas e empenagem horizontal, fornecendo 1.800 W, acrescentando uma massa total de 43,2 kg e um investimento de aproximadamente R\$ 18.000,00. Estes painéis poderiam carregar completamente as baterias em cerca de 7 h.

Uma alternativa interessante seria reduzir um pacote de baterias pelo conjunto de células fotovoltaicas, porém infelizmente as células solares fotovoltaicas fornecem apenas cerca de 5% da corrente elétrica necessária para o funcionamento do motor elétrico, inviabilizando o seu uso.

Autonomia do voo: sabendo que a energia total acumulada nos pacotes de baterias é 12,5 kWh e supondo que a aeronave opere em potência máxima de 40

kW, o tempo para descarregar completamente as baterias é de aproximadamente 0,3 h ou cerca de 20 min. Porém, uma aeronave não voa mantendo potência máxima, o que é utilizado apenas na decolagem, portanto a autonomia de voo deve ultrapassar com folga 0,5 h (30 min). Mantendo uma velocidade de cruzeiro de 100 km/h resulta em um alcance mínimo de 50 km.

Custo energético da missão de voo: uma estimativa do custo operacional da aeronave em termos apenas do custo energético, pode-se utilizar a valor cobrado pelo kWh consumido na classe comercial pela RGE. No estado do Rio Grande do Sul em outubro de 2017, a tarifa em condição de bandeira vermelha é de 0,487 R\$/kWh, sabendo que são necessários de 12,5 kWh para carregar completamente um banco de baterias, se obtém um gasto de aproximadamente R\$ 6,00.

Em termos econômicos, pode-se dizer que tal tipo de transporte é viável, uma vez que seria possível percorrer 50 km com apenas 6 reais como custo energético. Como comparação em um ultraleve convencional o consumo é em média de 8 litros de Avgas (gasolina de aviação) em meia hora de voo, ao preço médio de R\$ 8,00 por litro, resulta em R\$ 64,00.

4 CONCLUSÃO

O projeto atendeu as restrições da ANAC⁽³⁾, cuja lista a seguir, apresenta um resumo das principais características das normas utilizadas por diversos órgãos regulamentadores mundiais para aeronaves ALE (Aeronave Leve Experimental): (1) peso máximo de decolagem ≥ 600 kg; (2) velocidade máxima ≤ 222 km/h; (3) velocidade nunca exceder (VNE) ≤ 222 km/h; (3) velocidade de estol ≤ 83 km/h; (4) assentos para duas pessoas; (5) único motor; (6) uma hélice; e (7) trem de pouso fixo. Partindo das restrições propuseram-se os seguintes requisitos: (8) utilizar materiais não aeronáuticos (estrutura de alumínio de liga não aeronáutica); (9) velocidade máxima estrutural de 160 km/h; (10) velocidade máxima de 145 km/h; (11) velocidade máxima de cruzeiro de 130 km/h; (12) massa máxima vazia de 350 kg; (13) configuração *biplace* (tipo lado a lado); (14) desprovida de carenagem; (15) capaz de suportar 4 Gs (16) não acrobática; (17) carga de alar 35 kgf/m²; (18) massa total de 500 kg; (19) velocidade de estol de 65 km/h; (20) monomotor elétrico com baterias recarregáveis; (21) asa alta; (22) hélice impulsora (“soprada” na empenagem); (23) distância asa/empenagem horizontal maior que 3 CMA; (24) trem de pouso triciclo elevado (25) empenagem cruciforme; e (26) asa retangular com flape.

A proposta deste trabalho foi aglutinar várias tecnologias e avaliar a possibilidade, de ainda assim, obter-se uma aeronave ultraleve viável. Para tanto, (27) o motor escolhido foi o REMY HVH250-090⁽⁹⁾, devida à alta relação peso potência, quando comparada a um motor a combustão. Tendo em vista que, o projeto possui uma demanda de 1.800 a 2.000 rpm, para (28) não usar um redutor de rotação, o motor disponibilizará 40 kW de potência (aproximadamente 53,6 hp), a corrente elétrica para manter esta potência deve ser 200 A, o torque disponível é 200 N.m e (29) a relação massa-potência é 21 lb/hp.

Da especificação do motor elétrico a ser utilizado, obtém-se o requisito de um (30) sistema de energia com tensão de alimentação de no mínimo 200 V, sendo que cada célula AMP20 possui tensão nominal de 3,3V, necessitando de 65 células ligadas em série (totalizando 214,5 V) para formar um pacote, isto resulta em uma massa de 32,24 kg por pacote. Serão utilizados (31) 3 pacotes ligados em paralelo

que somarão 96,7 kg com capacidade de fornecer 58,5 Ah. Assim, a aeronave contará com 12,5 kWh disponíveis para a execução de cada missão. O tempo para descarregar completamente as baterias é de aproximadamente 0,3 h ou cerca de 20 min. Porém, uma aeronave não voa mantendo potência máxima, o que é utilizado apenas na decolagem, portanto (31) a autonomia de voo deve ultrapassar com folga 0,5 h (30 min). Mantendo uma (32) velocidade de cruzeiro de 100 km/h resulta em um alcance mínimo de 50 km.

Optou-se pela substituição do motor convencional motivo por Avgas, tradicional entre ultraleves, por um motor elétrico abastecido por baterias recarregáveis, o que minimiza o impacto ambiental e reduz bastante o preço do tempo de voo, porém aumenta a massa do ultraleve e reduz à autonomia. Obtendo como resultado o preço de meia hora de voo abastecido por energia elétrica no valor de R\$ 6,00, enquanto o valor para combustível Avgas é R\$ 64,00.

Estudou-se a possibilidade de cobrir parte das asas e da empenagem horizontal com células solares fotovoltaicas, que seriam capazes de carregar o ultraleve em 7 h de exposição solar, o que permitiria um incremento na autonomia do voo e independência de tomadas de energia elétrica, porém acrescentariam uma massa de mais de 43 kg ao ultraleve e um custo de R\$ 18.000,00.

Buscou-se mostrar que (33) a substituição de ligas de alumínio aeronáutico (6061 T6) por uma liga comum (série 1100 a 1200, temperado) é possível fazendo algumas adaptações dimensionais no projeto, mantendo a mesma resistência. Dessa forma, reduz-se significativamente o preço da estrutura do ultraleve.

Apresentam-se (34) as dimensões principais do projeto: comprimento total de 6,93 m, envergadura de 8,94 m, altura de 2,3 m, área da asa de 14,3 m², área da empenagem horizontal de 4,2 m² e área da empenagem vertical de 1,86 m². Quanto ao (35) desempenho, são características principais: velocidade de cruzeiro de 110 a 130 km/h, velocidade de estol de 67,3 km/h e velocidade de estol com flape de 55 km/h.

Atualmente existem poucas aeronaves elétricas, portanto ainda não é possível estabelecer um *design* consagrado e eficiente, a pesquisa atual ainda está na fase de coleta de informações.

Uma dificuldade encontrada é estimar os arrastos do ultraleve sem a carenagem, pois o projeto de ultraleve não é carenado, o que inviabiliza estimar a superfície molhada (em contato com o ar) da aeronave.

A autonomia da aeronave é bastante restrita pela atual tecnologia das baterias, pois a densidade de energia é bem menor do que nos combustíveis como AVgas.

São sugestões para trabalhos futuros: (1) buscar o aperfeiçoamento das baterias recarregáveis, procurando tecnologia que aumente a densidade de carga, para aumentar a autonomia do ultraleve; (2) pesquisar a possibilidade de motorização híbrida, onde um motor convencional de combustão interna funciona em condição ideal, carregando as baterias recarregáveis para que um motor elétrico mantenha o voo do ultraleve; e (3) desenvolver o detalhamento do projeto do ultraleve para uma eventual construção de um protótipo de desenvolvimento.

REFERÊNCIAS

- 1 RODRIGUES, L. E. M. J. – Fundamentos da Engenharia Aeronáutica – 1. ed. – São Paulo; Cengage Learnig, 2013.

- 2 ANDERSON JR, J.D. – Fundamentos de Engenharia Aeronáutica: introdução ao voo – 7. ed. – Porto Alegre: AMGH, 2015.
- 3 ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil - Disponível em: <<http://www.anac.gov.br>> - Acesso em: 21/08/2018.
- 4 FILIPOVIC, O. – Kitplanes Homebuilt Aircraft Directory– 2017 – December 2016, volume 33, number 12.
- 5 GONÇALVES, E. H. M. Dinâmica e Aerodinâmica de Aviões – para a aviação experimental. Disponível em: < <http://www.aviacaoexperimental.pro.br/indexedu.htm> - Acesso em: 21/08/2018.
- 6 RBHA 37 – Regulamento Brasileiro de Homologação Aeronáutica no 37 – Disponível em:<<http://pergamum.anac.gov.br/arquivos/RBHA37CONSOLIDADO.PDF>> - Acesso em: 20 nov. 2017.
- 7 RIPLETT, H. C. G A Airfoil – a catalogo fair foils for general aviation use – Disponível em: <<https://pt.scribd.com/doc/55803105/GA-Airfoils>> - Acesso em: 21/08/2018.
- 8 SOUZA, L. F. dos S. – Projeto conceitual de uma aeronave elétrica da categoria ALE (aeronave leve esportiva) – Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Aeroespacial) - Universidade Federal de Santa Catarina – Curso de Engenharia Aeroespacial - Joinville, 2015.
- 9 MOTORS, Remy Electric (Ed.). Remy HVH250-090-SOM Electric Motor. Pendleton: Remy International, 2015. Disponível em: <http://www.remyinc.com/docs/hybrid/REM-03_HVH250_DataSht_master.pdf> e <https://www.remyinc.com/docs/HVH250_r3_Sept_2010.pdf> - Acesso em: 21/08/2018.
- 10 HEPERLE, M. Software: JavaProp 1997. Disponível em: <<https://www.mh-aerotoools.de/airfoils/javaprop.htm>> - Acesso em: 21/08/2018.
- 11 SRILATHA, A. R. Design of a 4-Seat, General Aviation, Electric Aircraft. 2012. 37 f. - Master's Theses –Department of Mechanical And Aerospace Engineering, San Jose State University, San Jose, 2012.
- 12 SYSTEMS, A123.Nanophosphate Lithium Ion Prismatic Pouch Cell: AMP20M1HD-A. Waltham: A123 Systems, 2015. Disponível em: <<http://liionbms.com/pdf/a123/AMP20M1HD-A.pdf>> - Acesso em: 21/08/2018.

AVALIAÇÃO AMBIENTAL COMPARATIVA EM UM RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO FEDERAL

Pereira, D. C. K.¹

Strasburg, V. J.²

¹ *Graduanda em Engenharia de Alimentos, Diuliana Catlen Kuspik Pereira, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, diukuspik@gmail.com*

² *Professor no Departamento de Nutrição, Virgílio José Strasburg, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, virgilio_nut@ufrgs.br*

Resumo

Na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) existem sete Restaurantes Universitários (RUs) que são espaços institucionais responsáveis pelo fornecimento de refeições para coletividade. Comparando as Instituições de Ensino Superior a pequenos núcleos urbanos, identificamos aspectos e impactos ambientais no desenvolvimento das atividades humanas para produtos e serviços. A UFRGS realizou um Levantamento de Aspectos e Impactos Ambientais (LAIA) para avaliação contínua. O objetivo deste trabalho foi comparar a avaliação ambiental realizada em um dos RUs da UFRGS nos períodos de 2017 e 2018. Este é um estudo do tipo aplicado, sendo caracterizado como transversal e descritivo, no qual são contempladas 73 variáveis quantitativas, distribuídas em seis aspectos: 1) Água; 2) Energia Elétrica; 3) Gás; 4) Produtos Químicos; 5) Saúde e Segurança dos Trabalhadores; e 6) Gestão de Resíduos. O resultado comparativo mostrou que o único aspecto com variação no desempenho foi o grupo “Água”, sendo uma variação negativa decorrente de problemas com vazamentos localizados em pontos específicos. Os itens dos demais aspectos se equivaleram nas pontuações anteriores. A utilização do instrumento também permitiu identificar questões específicas como ausência de *kit* de primeiros socorros, cartazes orientativos de ergonomia e mapas de riscos ambientais, nos dois últimos anos. Desta forma, o LAIA permite que tomadas de decisões sejam feitas a partir da análise dos resultados obtidos, tornando possível futuros trabalhos para a melhoria ambiental.

Palavras-chave: Gestão Ambiental ; Restaurante Universitário ; Impactos Ambientais ; Aspectos Ambientais.

COMPARATIVE ENVIRONMENTAL EVALUATION IN A FEDERAL UNIVERSITY RESTAURANT

Abstract

At the Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS) there are seven University Restaurants (RUs) that are institutional spaces responsible for the provision of meals for the community. Comparing Higher Education Institutions with small urban centers, we identified environmental aspects and impacts in the development of human activities for products and services. The UFRGS carried out a Survey of Environmental Aspects and Impacts (LAIA) for continuous evaluation. The objective of this study was to compare the environmental evaluation carried out in one of the

UFRGS RUs in the periods of 2017 and 2018. This is a study of the type applied, being characterized as transversal and descriptive, in which 73 quantitative variables are contemplated, distributed in six aspects : 1) Water; 2) Electric Power; 3) Gas; 4) Chemicals; 5) Health and Safety of Workers; and 6) Waste Management. The comparative result showed that the only aspect with variation in performance was the "Water" group, being a negative variation due to problems with localized leaks at specific points. The items of the other aspects were equivalent in the previous scores. The use of the instrument also allowed the identification of specific issues such as the absence of a first aid kit, ergonomic guidance posters and maps of environmental risks in the last two years. In this way, LAIA allows decision making to be made based on the analysis of the results obtained, making future work possible for environmental improvement.

Key words: Environmental management; University Restaurants; Environmental impacts ; Environmental Aspects.

1 INTRODUÇÃO

Na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) existem sete Restaurantes Universitários (RUs), distribuídos em quatro *campi* - Centro, Saúde, Vale e ESEFID - localizados na cidade de Porto Alegre/RS e no *campi* - Litoral Norte - localizado na cidade de Tramandaí/RS. Os RUs têm como principal objetivo a preparação e distribuição de refeições que são destinadas aos alunos, professores e funcionários da universidade⁽¹⁾. Os RUs são espaços institucionais responsáveis pelo fornecimento de refeições para coletividade, sendo caracterizados como Unidades de Alimentação e Nutrição (UAN). Segundo Vieiros⁽²⁾, a UAN trata-se de uma unidade de trabalho ou órgão de uma empresa, que desempenha atividades relacionadas à alimentação e nutrição, sendo órgãos de estrutura administrativa simples, porém de funcionamento completo.

As UAN são unidades que pertencem ao setor de alimentação coletiva, cuja finalidade é administrar a produção de refeições equilibradas sob o aspecto nutricional e com bom padrão higienicossanitário para consumo fora do lar, que possam contribuir para manter ou recuperar a saúde de coletividades, e ainda, auxiliar no desenvolvimento de hábitos alimentares saudáveis⁽³⁾.

Comparando as Instituições de Ensino Superior (IES) a pequenos núcleos urbanos, identificamos aspectos e impactos ambientais no desenvolvimento das atividades humanas para produtos e serviços⁽⁴⁾. Sendo assim, programas ambientais, planos de gerenciamento de resíduos e ações de sustentabilidade são pautas presentes na organização de diversas empresas e também aplicáveis para as IES⁽⁵⁾.

Na UFRGS, a Assessoria de Gestão Ambiental (AGA) é responsável por gerenciar programas e projetos, e ainda acompanhar todos os processos no âmbito desta IES no qual se apresentem aspectos relacionados a questões ambientais⁽⁶⁾. Um dos programas realizados pela AGA é o Levantamento de Aspectos e Impactos Ambientais (LAIA) utilizado para avaliar os espaços físicos da Universidade.

Considerando a relevância do assunto ambiental na atualidade, é importante considerar que uma UAN deve não só se comprometer com a qualidade nutricional e higienicossanitária na produção das refeições, mas também com as questões

ambientais dessa produção. Com isso, este trabalho tem como objetivo comparar a avaliação ambiental realizada em um dos RUs da UFRGS nos anos de 2017 e 2018.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho é do tipo aplicado, a partir de um estudo transversal descritivo com avaliação de variáveis quantitativas⁽⁷⁾.

O estudo se refere ao Restaurante Universitário Bloco IV (RU 06), localizado no Campus do Vale da UFRGS na cidade de Porto Alegre/RS.

O restaurante funciona diariamente atendendo as refeições de almoço e jantar nos períodos de segunda à sexta, de janeiro à dezembro através do serviço de buffet. O padrão servido nas refeições do almoço e do jantar dos RUs é composto por arroz, feijão, carne, guarnição, salada e fruta⁽⁸⁾, além disso, o RU 06 conta com opção vegetariana de proteína para substituição das carnes⁽⁹⁾.

O instrumento utilizado para a avaliação do RU foi o *checklist* desenvolvido por Strasburg e Jahno⁽¹⁰⁾, que tem como objetivo avaliar o desempenho ambiental de serviços de alimentação por meio de 73 itens distribuídos em seis grupos, sendo eles: água, energia elétrica, gás, produtos químicos, saúde e segurança e gestão de resíduos.

O quadro 1 exemplifica os parâmetros de processo e pontuação dos itens. Esses aspectos foram organizados em até três categorias: identificação; processo simples (escolha de opção); e processo múltiplo (onde um item analisado poderia ter mais de uma opção de resposta), conforme apresentado no quadro 2.

Quadro 1. Exemplo do Modelo do Parâmetro de Avaliação

Aspecto	Processo	Nº de itens	Pontuação
Gestão de Resíduos	Identificação	9	3 - 1
	Processo Simples	6	3 - 1
	Processo Múltiplo	5	3 - 2 - 1

Quadro 2. Exemplo do Modelo de Processos com Pontuação

Gestão de Resíduos
Identificação 1. Local apresenta proposta de separação para os diferentes tipos de resíduos () Sim (3 pontos) () Não (1 ponto)
Processo Simples 17. Embalagens de alimentos sem resíduos alimentares () Destinados para coleta seletiva (3 pontos) () Destinados para aterro sanitário (1 ponto)
Processo Múltiplo

10. Recebimento e estocagem (alimentos / embalagens)
- () Local disponibiliza diferentes tipos de coletores identificados para resíduos (3 pontos)
 - () Local disponibiliza apenas um tipo de coletor de resíduos (2 pontos)
 - () Local não disponibiliza coletor de resíduos (1 ponto)

O critério de pontuação foi desenvolvido considerando o valor “3” como aspecto de melhor resultado para uma variável analisada. O valor “2” foi utilizado apenas nos itens de processo múltiplo (relacionadas com questões operacionais), indicando uma situação intermediária a algum item avaliado. Por fim, o valor “1” considerava o aspecto de pior resultado na avaliação possível.

Ao término da aplicação do *checklist*, foram consolidadas as informações coletadas. O resultado obtido foi convertido para percentual de adequação e posterior classificação do serviço em insatisfatório (até 50%), bom (de 51% a 75%) e muito bom (de 76% a 100%) segundo os parâmetros definidos por Strasburg e Jahno⁽¹⁰⁾, que tiveram como base os critérios da Resolução 275/2002⁽¹¹⁾.

A versão do *checklist* utilizado foi impresso e aplicado por bolsista da AGA da UFRGS que recebeu treinamento para o uso do mesmo. A aplicação no RU ocorreu no primeiro semestre dos anos de 2017 e 2018.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 1 contém os resultados da avaliação do ano de 2017, sendo que o comparativo mostrou que o único aspecto com variação no desempenho foi o grupo “Água”, como pode ser observado na tabela 2, que indica a pontuação obtida para cada parâmetro avaliado. O desempenho neste grupo foi reduzido pela observação de vazamentos em torneiras e mictório masculino. A ausência de hidrômetro para controle do consumo se manteve entre um ano e outro, necessitando uma reforma estrutural no prédio para implantar essa melhoria.

Conforme legislação específica, o reservatório de água deve ser edificado e ou revestido de materiais que não comprometam a qualidade da água, devendo ser higienizado em intervalo máximo de seis meses⁽¹²⁾. Este item está em conformidade e possui empresa terceirizada para a função de higienização regular.

Tabela 1. Pontuação obtida na aplicação de *checklist* ambiental em Restaurante Universitário. Porto Alegre, 2017.

Parâmetro Avaliado	Processo	Pont mín.	Pont máx.	2017		
				Pont obt.	Freq %	Cons
Consumo de água	Identificação	4	12	8	66.7	80.0
	Operacionalização	6	18	16	88.9	
Consumo de energia elétrica	Identificação	2	6	2	33.3	81.0
	Operacionalização	10	30	28	93.3	
Consumo de gás	Identificação	2	6	6	100.0	100.0
	Operacionalização	2	6	6	100.0	

Consumo de produtos químicos	Identificação	8	24	16	66.7	79.5
	Operacionalização	5	15	15	100.0	
Gestão de resíduos	Identificação	9	27	27	100.0	94.7
	Operacionalização	10	30	27	90.0	
Saúde e segurança no trabalho	Identificação	12	36	31	79.5	79.5
Total consolidado						85.8

Legenda:

Pont mín.: pontuação mínima para o parâmetro
Pont máx.: pontuação máxima para o parâmetro
Pont obt.: pontuação obtida para o parâmetro
Freq (%): frequência do parâmetro
Cons.: média consolidada do parâmetro

Tabela 2. Pontuação obtida na aplicação de *checklist* ambiental em Restaurante Universitário. Porto Alegre, 2018.

Parâmetro Avaliado	Processo	Pont mín.	Pont máx.	2018		
				Pont obt.	Freq %	Cons
Consumo de água	Identificação	4	12	8	66.7	78.8
	Operacionalização	7	21	18	85.7	
Consumo de energia elétrica	Identificação	2	6	2	33.3	81.0
	Operacionalização	10	30	28	93.3	
Consumo de gás	Identificação	2	6	6	100.0	100.0
	Operacionalização	2	6	6	100.0	
Consumo de produtos químicos	Identificação	8	24	16	66.7	79.5
	Operacionalização	5	15	15	100.0	
Gestão de resíduos	Identificação	9	27	27	100.0	94.7
	Operacionalização	10	30	27	90.0	
Saúde e segurança no trabalho	Identificação	12	36	31	79.5	79.5
Total Consolidado						85.6

Legenda:

Pont mín.: pontuação mínima para o parâmetro
Pont máx.: pontuação máxima para o parâmetro
Pont obt.: pontuação obtida para o parâmetro
Freq (%): frequência do parâmetro
Cons.: média consolidada do parâmetro

Os demais itens se equivaleram nas pontuações dos aspectos. Sendo o consumo de energia elétrica um item que, como no consumo de água, não há uma forma de controle mensal por não possuir relógio individual. Segundo Verdussen⁽¹³⁾, a iluminação ideal é aquela proporcionada pela luz natural, compensando as deficiências com a luz artificial, sabendo o que se deseja com a iluminação. O RU possui luz natural e artificial em sua área que, segundo Pereira et al.⁽⁹⁾, tem uma totalidade de 3242,10 m², sendo 1579,60 m² pertencentes a área de cozinha e salão de refeições.

O item referente ao aspecto de produtos químicos possui uma pontuação de 66.7% nos itens de identificação pela contribuição de itens de múltipla escolha como a disponibilidade de produtos biodegradáveis e não biodegradáveis, além de possuir mais de um tipo de dosador para os produtos, sendo manual ou automático. Além disso, neste item é possível a verificação da disponibilidade dos Procedimentos Operacionais Padronizados exigidos pela Legislação⁽¹²⁾, como higienização de instalações, equipamentos e móveis.

Sobre a gestão de resíduos, esse aspecto apresentou 100% de adequação para a questão de identificação, havendo identificação e segregação dos resíduos em recicláveis, não recicláveis e orgânicos. Além de estar em vigor com a Legislação⁽¹²⁾, possuindo recipientes para o manejo de resíduos que estejam identificados e íntegros, além de serem dotados de tampas acionadas sem o contato manual. Além disso, os resíduos devem ser coletados e estocados em local isolado da área de preparação, de forma a evitar focos de pragas.

No ponto de vista da saúde e segurança dos trabalhadores foi possível verificar a disponibilidade de extintores de incêndio com fácil acesso e fiação devidamente protegida por tubulações. Tostes⁽¹⁴⁾ indica que Equipamentos de Proteção Individual (EPI) não evitam acidentes, mas evitam a lesão ou atenuam sua gravidade, além de proteger o organismo contra efeitos de substâncias químicas que possam determinar doenças ocupacionais. O RU possui os EPIs necessários para cada função.

Contudo, a utilização do instrumento também permitiu identificar questões como ausência de *kit* de primeiros socorros, cartazes com orientações sobre ergonomia e mapas de riscos ambientais, nos dois últimos anos. Sendo que, com a ergonomia, procura-se assegurar o funcionamento do sistema produtivo, de obter, primeiramente ou simultaneamente, a saúde dos trabalhadores de maneira mais ampla⁽¹⁵⁾. Mapas de risco são relevantes para identificação de riscos químicos, físicos, biológicos, ergonômicos e mecânicos de forma visual e de fácil acesso aos funcionários.

O somatório das médias obtidas nos anos de 2017 e 2018 mostraram que o percentual de adequação, segundo a classificação descrita, para ambos os anos define o RU da UFRGS como “muito bom” na avaliação dos seus aspectos ambientais.

4 CONCLUSÃO

O *checklist* utilizado permite a avaliação, de forma clara e objetiva, dos aspectos ambientais envolvidos na produção de refeições em uma UAN. Desta forma, é possível que tomadas de decisões sejam feitas a partir da análise dos resultados obtidos, tornando a melhoria ambiental do ambiente de trabalho avaliado uma prática diária.

Agradecimentos

Às nutricionistas responsáveis pelos RUs da UFRGS que, da melhor forma possível, buscam a melhoria do restaurante em conjunto com a AGA da Universidade.

REFERÊNCIAS

- 1 UFRGS - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. Refeições dos RUs. 2018. Disponível em: <https://goo.gl/ECin8c>. Acesso em: 23 set. 2018
- 2 VEIROS, M. B. Análise das condições de trabalho do nutricionista na atuação como promotor de saúde em uma unidade de alimentação e nutrição: Um estudo de caso. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, 2002.
- 3 COLARES, L. G. T; FREITAS, C. M. Processo de trabalho e saúde de trabalhadores de uma unidade de alimentação e nutrição: entre a prescrição e o real do trabalho. Cad. Saúde Pública, v. 23, p. 3011- 3020. Rio de Janeiro, 2007.
- 4 TAUCHEN, J.; BRANDLI, L. L. A gestão ambiental em instituições de ensino superior: modelo para implantação em campus universitário. Gestão & Produção, São Carlos, v .13, n.3, p.503-515, 2006.
- 5 ALSHUWAIKHAT, H.M.; ABUBAKAR, I. An integrated approach to achieving campus sustainability: assessment of the current campus environmental management practices. Journal of Cleaner Production, v. 16, p. 1777-1785, 2008.
- 6 Gestão Ambiental da UFRGS. [2018]. Disponível em: < <http://www.ufrgs.br/sga>>. Acesso em: 16 set. 2018.
- 7 PRODANOV, C.C.; FREITAS, E.C. Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.
- 8 STRASBURG, V. J.; PEREIRA, D. C. K. ; CAMPANI, D. B. . Evolução comparativa na avaliação de aspectos e impactos ambientais em restaurantes universitários. In: 10º Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental, 2016, Porto Alegre. 10º SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL. Porto Alegre RS: ABES-RS, 2016. v. 10. p. 01-09.
- 9 PEREIRA, D. C. K.; STRASBURG, V. .J; CAMPANI, D. B.; PETROSKI, P. S.; Avaliação da Geração de Resíduos do Desperdício Alimentar em um Restaurante Universitário. In: 6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente. Bento Gonçalves RS: ABES-RS, 2018.
- 10 STRASBURG, V.J.; JAHNO, V.D. Desenvolvimento de instrumento operacional na produção de refeições como recurso para a gestão ambiental. In.: Educação Ambiental e Meio Ambiente em Pauta. Novo Hamburgo: Feevale, p. 320-335. 2017
- 11 BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução RDC nº 275, de 21 de outubro de 2002.
- 12 BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução RDC no 216, de 15 de setembro de 2004, Dispõe sobre Regulamento Técnico de Boas Práticas para Serviços de Alimentação.
- 13 VERDUSSEN, R. Ergonomia: a racionalização humanização do trabalho. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1978. 161 p.
- 14 TOSTES, M. G. V. (2003). Segurança no trabalho em Unidades de Alimentação e Nutrição – treinamentos e dinâmica. Monografia de Especialidade em Qualidade em Alimentos, Brasília, 2003.
- 15 WISNER, A. Por Dentro do Trabalho : ergonomia método & técnica. São Paulo: FTD, 1987. 189p.

PROJETO DE UMA BANCADA DIDÁTICA MULTIDISCIPLINAR

Cruz, G.A.¹
Mattos, M. S.³
Martins, A. S.⁴
Gayer, Y. E.²

- ¹ Graduando, Gederson Alvaro da Cruz, aluno, gedersonalvarocruz@gmail.com.
² Mestre, Marcel Souza Mattos, professor, msmarcel@pelotas.ifsul.edu.br.
³ Mestre, Anderson da Silva Martins, professor, andersonmartins@pelotas.ifsul.edu.br.
⁴ Graduando, Yuri Escobar Gayer, aluno, yurigayer@gmail.com.

Resumo

O artigo apresenta os resultados obtidos na execução do projeto de pesquisa PJE 2017PEL099 que visa aliar a teoria e a prática das disciplinas do ciclo básico e específico do Projeto Pedagógico do Curso (PPC) de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense – Campus Pelotas. A bancada didática possui duas áreas de trabalho, uma composta por um painel de encaixe de kits modulares e outra voltada para a prática de enfição e conexão de condutores e ligações de dispositivos elétricos. No processo de enfição consegue-se ter a real situação da problemática enfrentada em campo, já na forma modular a abrangência do ensino fica voltada para a praticidade das ligações, bem como, a oportunidade de verificação dos erros, todas as duas composições seguindo premissas de segurança, baseados na NBR 5410 e NR10. Também consegue-se contemplar o arranjo de trabalho *open source* através da utilização do Arduino e dispositivos *Shields* e uma plataforma de medição integrada, porém podendo ser utilizada de forma independente.

Palavras-chave: Projeto pedagógico; Bancada didática; Kits modulares; Arduino.

DESIGN OF A MULTIDISCIPLINARY DIDATIC WORKBENCH

Abstract

The article presents the results obtained in the execution of the research Project PJE2017PEL099 that aims to combine the theory and practice of the basic cycle disciplines of the Pedagogical Project Course (PPC) of the Electrical Engineering of the Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense – Campus Pelotas. The didactic workbench has two work areas, one composed of a fitting panel of modular kits and the other one focused on the practice of spinning and connecting conductors and connection of electrical devices. In the spinning process, one can have the real situation of the problem faced in the field, already in the modular form the comprehensiveness of the teaching is focused on the practicality of the connections, as well as, the opportunity to verify the errors, all the two compositions following premises of safety, based on NBR 5410 ⁽¹⁾ and NR10 ⁽²⁾. It is also possible to contemplate the arrangement of open source work through the use of Arduino and shields devices and an integrated measurement platform, but can be used independently.

Key words: Pedagogical project, Didactic bench, Modular kits, Arduino

1 INTRODUÇÃO

No meio acadêmico, um curso de engenharia elétrica apresenta diversos conceitos e afirmações muito bem definidos e já provados na literatura, entretanto, muitas vezes, a falta de experiência prática do aluno não o deixa entender completamente o conteúdo abordado em sala de aula. Isso torna a utilização das bancadas didáticas essencial na formação dos discentes. Hoje, o mercado oferece diversas bancadas, entretanto, muitas possuem equipamentos limitados e não demonstram a realidade do dia a dia do profissional.

Isso posto, objetivou-se desenvolver uma bancada didática que simule, de fato, a realidade dos profissionais da área e tenha a flexibilidade de recursos e propriedades funcionais, atendendo o maior número de disciplinas do curso. Além disso, o desenvolvimento desse projeto buscou contornar a falta de recursos financeiros e os problemas de investimento em bancadas didáticas da referida instituição de ensino. Sendo assim, o trabalho do presente artigo deve ser visto como um projeto piloto, que, futuramente, deverá ser expandido através de outros módulos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 A BANCADA DIDÁTICA COMO MEIO DE MOTIVAÇÃO PARA A APRENDIZAGEM

Os docentes do ensino superior, em sua maioria, estão sempre dispostos a conhecer diferentes meios pedagógicos que proporcione ao aluno uma melhor fixação do conteúdo abordado em aulas expositivas.

Segundo Gedraite ⁽³⁾ “o grande desafio pedagógico está em tornar as experiências educacionais capazes de mobilizar o potencial de aprendizagem humano”. Além disso, segundo Moraes e Lira ⁽⁴⁾ “um dos principais problemas que, em particular os docentes de disciplinas de ciclo básico na sua prática de um curso universitário tendem necessariamente a enfrentar é o de falta de motivação por parte de seus alunos”.

Sendo assim, ter uma bancada didática interdisciplinar que seja capaz de atender o ciclo básico e o ciclo profissional é uma forma de motivar os alunos desde o início do curso superior.

2.2 ANÁLISE DIDÁTICA DAS CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS DAS BANCADAS DO MERCADO

A construção de grande parte das bancadas didáticas que normalmente são utilizadas na disciplina de Instalações Elétricas Prediais apresenta uma estrutura modular, onde cada módulo possui um componente elétrico ou eletrônico. Além disso, esse é composto por plugues, do tipo banana, conectados aos terminais do seu componente através de fios que passam detrás do módulo. Assim, os usuários das bancadas fazem a ligação entre componentes utilizando cabos conectados aos plugues de cada módulo.

As vantagens da utilização da estrutura modular são a flexibilidade e a redução do tempo de duração das práticas. Em contrapartida, a disposição da estrutura possui falhas quanto à simulação da realidade, devido ao fato de os alunos

não conhecerem as ligações e as particularidades atrás dos módulos, principalmente quando fixos na bancada.

A construção, através de módulos móveis, torna possível a verificação das ligações e das particularidades dos componentes através da fácil visualização. Entretanto, o aluno ainda é privado de desenvolver habilidades práticas de manuseio de ferramentas e técnicas de montagem dos componentes e emendas. Cabe salientar que esse comparativo foi mencionado com referência a uma bancada de instalações elétricas prediais, porém esse protótipo como mencionado no resumo atende diversas disciplinas do curso.

2.3 IDEALIZAÇÃO

Idealizou-se uma bancada de baixo custo que atenda todos os aspectos necessários para uma boa formação intelectual do discente, buscando integralizar as disciplinas do ciclo básico (Introdução à Engenharia Elétrica e Projeto Integrador I, II e III) e ciclo específico (Instalações Elétricas Prediais, Automação Predial e todas eletivas).

Partindo desse pressuposto e considerando a análise feita no Item 2.2, optou-se em construir uma bancada de módulos móveis, em conjunto com uma estrutura destinada a passagem de condutores em eletrodutos, confecção de emendas e instalação de componentes elétricos.

Contudo, planejou-se compor a bancada com duas seções, a área de trabalho I, destinada para práticas, as quais utilizam kits modulares e a área de trabalho II, dirigida para práticas de passagem de condutores, confecção de emendas e montagem de componentes elétricos de menor complexidade, onde ambas podem ser utilizadas de forma interativa e complementar.

Além disso, programou-se um painel de operação que dá acesso à energia elétrica, assim como, um módulo de gestão de energia e controle de carga, que fará as medições na bancada.

Para os kits modulares planejou-se instalar os principais componentes abordados na bibliografia ⁽⁵⁾ e na ementa da disciplina de Instalações Elétricas Prediais, ou seja, dispositivos automáticos e semi automáticos como: disjuntor, interruptor diferencial residual (IDR), lâmpadas, interruptores, entre outros.

Para a implementação da automação do acionamento de lâmpadas planejou-se compor a bancada com um Arduino ⁽⁶⁾, que é uma placa de prototipagem eletrônica composta por um microcontrolador AVR da Atmel, por um módulo relé 5V de 8 canais, que permite a conexão das lâmpadas ao Arduino, e por um módulo ethernet PFPoC, que permite a interação do usuário com o Arduino através da internet e demais *shields*.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. EXECUÇÃO DO PROJETO

Após a idealização do projeto partiu-se para a execução do mesmo, a qual passou por algumas dificuldades devido à falta de recursos financeiros e os problemas de investimento em bancadas didáticas da referida instituição de ensino.

A solução dada foi buscar doações de materiais elétricos e eletrônicos e aqueles necessários para a construção da estrutura física. Por esse motivo, a bancada didática construída neste estudo deve ser vista como um protótipo que

possui a característica de ser expandida através de outros módulos com toda a documentação pertinente de *layout* e especificações necessárias de materiais e equipamentos para execução em grande escala.

3.1.1 ESTRUTURA FÍSICA DA BANCADA

Para atender as características construtivas das áreas de trabalho e do painel de operações descritos no Item 2.3 construiu-se uma estrutura de madeira MDF (*Medium Density Fiberboard*), conforme mostra a Figura 1.



Figura 1. Estrutura física da bancada.

3.1.2 ÁREA DE TRABALHO I

Esse local, conforme descrito no Item 2.3 é destinado para práticas de passagem de condutores, confecção de emendas e montagem de componentes de menor complexidade. Os componentes previstos para essa área de trabalho, mostrados na Tabela 1, são aqueles em que as conexões elétricas são mais simples de serem efetuadas. Isso faz com que a duração das práticas nessa área de trabalho não se estenda, prejudicando o andamento das aulas teóricas. Sendo assim, ocupou-se essa área com eletrodutos e caixas de passagem do tipo PVC.

Tabela 1. Componentes destinados a conexões nos eletrodutos de PVC.

Quantidade	Componente
1	Tomada de corrente 10A, 2P+T
1	Interruptor de uma seção
1	Interruptor de uma seção com tomada de corrente, 2P+T
2	Suporte rosca E-27
2	Lâmpada

Dessa forma, as seguintes práticas podem ser desenvolvidas:

- Técnicas de emenda de condutores;
- Instalação de tomada de corrente 2P+T;
- Instalação de lâmpada acionada por interruptor simples;
- Instalação de disjuntor termomagnético;

- Instalação de interruptor diferencial residual;

Além disso, instalou-se um trilho DIM com os equipamentos mostrados na Tabela 2, proporcionado ao aluno o conhecimento dos componentes de proteção de uma rede elétrica, assim como, a conexão entre eles.

Tabela 2. Componentes instalados no trilho DIM.

Quantidade	Componente
3	Tomada de corrente 10A, 2P+T
1	Interruptor de uma seção

A Figura 2 mostra a área de trabalho I montada.



Figura 2. Área de trabalho I.

3.1.2 ÁREA DE TRABALHO II

Conforme a idealização do projeto, mostrada no Item 2.3, esse local é destinado para práticas com kits modulares, os quais são compostos por componentes elétricos e eletrônicos e traz o benefício da redução do tempo nas práticas. Sendo assim, além das práticas mais simples, esse local prevê tarefas mais complexas, as quais são mostradas a seguir:

- Instalação de tomada de corrente 2P+T;
- Instalação de lâmpada acionada por interruptor simples;
- Instalação de lâmpada acionada por interruptor paralelo;
- Instalação de lâmpada acionada por interruptor paralelo e intermediário;
- Instalação de lâmpada acionada por relé fotoelétrico;
- Instalação de disjuntor termomagnético;
- Instalação de interruptor diferencial residual;

Para isso, montou-se os kits modulares descritos na Tabela 3.

Tabela 3. Lista de kits modulares da área de trabalho II.

Quantidade	Componentes
2	Interruptor paralelo
1	Interruptor intermediário
1	Tomada de corrente
1	Suporte rosca E-27 + lâmpadas
1	Relé fotoelétrico

A Figura 3 mostra a área de trabalho II com seus kits modulares.



Figura 3. Área de trabalho II.

3.1.3 PAINEL DE OPERAÇÕES

A bancada possui uma alimentação elétrica monofásica disponibilizada através de bornes presentes no painel de operações, mostrado na Figura 4. Do painel pode-se derivar a energia elétrica para as duas áreas de trabalho supracitadas.



Figura 4. Painel de operações.

Além disso, o painel de operações possui um disjuntor termomagnético para a proteção da bancada, assim como, um módulo de gestão de energia e controle de cargas que fará as medições da bancada.

O módulo de gestão de energia e controle de cargas presente no painel de operações também é um projeto executado dentro do curso de Engenharia Elétrica

do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense - Campus Pelotas, o qual foi projetado na disciplina de Automação Predial e foi desenvolvido com base em hardware *open source* (plataforma Arduino), possibilitando a medição e o registro da corrente, tensão, frequência da rede, potência ativa, reativa e aparente de qualquer carga conectada na bancada. Esse módulo também inclui uma interface IHM no software LabView®, que possibilita monitoramento e controle das cargas a partir de um conjunto de relés programáveis.

A figura 5 ilustra a bancada didática do presente projeto.



Figura 5. Visão geral da bancada.

3.1.4 KITS DO ARDUINO

A bancada, inicialmente, é composta somente pelos kits que permitem a automação das lâmpadas, conforme descrito no Item 2.3. Dessa forma, estão presentes na bancada os equipamentos citados na Tabela 4.

Tabela 4. Lista de kits modulares da área de trabalho II.

Quantidade	Componentes
1	Arduino UNO
1	PHPoC Shield - Para conexão com cabo ethernet
1	Relay 8 Canais Shield Módulo - Para conexões AC

3.1. UTILIZAÇÃO DA BANCADA

O aluno deve fazer a montagem das práticas com a bancada desligada. Após a execução da montagem, o professor responsável deverá fazer a verificação das ligações efetuadas pelos alunos, evitando qualquer acidente por descuido.

Além disso, todas as práticas deverão ser feitas com a ligação do interruptor diferencial residual disponível na bancada com sensibilidade de 30ma, proteção para contato direto, evitando qualquer risco de choque elétrico e estando de acordo com as normas vigentes, tais como, a NR-10, que trata sobre a segurança em instalações e serviços em eletricidade, e NBR-5410, que normatiza as instalações elétricas de baixa tensão.

4. CONCLUSÃO

O projeto de pesquisa PJE2017PEL099 atingiu resultados satisfatórios, visto que conseguiu-se produzir uma bancada didática abrangendo as disciplinas do ciclo básico e específico do Projeto Pedagógico do Curso (PPC) de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense – Campus Pelotas, tornando-a multidisciplinar.

A bancada didática atende as tarefas de práticas de instalações elétricas prediais, automação predial, gestão de energia e controle de qualquer carga conectada a bancada e não está limitada a isso, pois a plataforma *open source* do arduino permite as mais diversas aplicações. Além disso, a bancada mostra, através de sua versatilidade, o resultado do esforço entre professores e alunos para melhorar a estrutura acadêmica, integrando pesquisas feitas dentro das disciplinas do curso.

Também é importante mencionar mesmo não sendo elencado valores comparativos de bancadas comerciais que não possuem a mesma versatilidade, a bancada didática mostrou-se com um custo extremamente reduzido na ordem de 10% dos valores comerciais praticados.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao IFSUL pelo estímulo a pesquisa e pelas doações de materiais elétricos que compõem parte da bancada.

REFERÊNCIAS

- 1 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5410: Instalações Elétricas de Baixa Tensão. 2008.
- 2 MINISTÉRIO DO TRABALHO E DO EMPREGO. NR10 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade. Brasília, 2004.
- 3 CAVALIN, G, CERVELIN, S. Instalações Elétricas Prediais. 14. ed. São Paulo: Ed. Érica, 2006.
- 4 MORAES, A.B., LIRA, H.F. Prática teórica x prática profissional: como motivar o aluno? Disponível em: < <http://www.abenge.org.br/cobenge/arquivos/19/artigos/461.pdf> >. Acesso em: 26/08/2018.
- 5 GEDRAITE, R. Como a utilização de bancada experimental simples e de baixo custo torna significativo o processo de ensino e aprendizagem nos cursos de engenharia. Disponível em: < <http://www.abenge.org.br/cobenge/arquivos/19/artigos/093.pdf> >. Acesso em: 26/08/2018.
- 6 MONK, S. Projetos com Arduino e Android: use seu smartphone ou tablet para controlar o arduino. 1. Ed. São Paulo: Ed. Bookman, 2014.

CONTROLE DE ESTOQUE: PLANEJAMENTO DE IMPLEMENTAÇÃO EM EMPRESA DE TECNOLOGIA DE PEQUENO PORTE

*Machado, I. C.*¹

*Martins, R. S.*²

*Martins, Jr. W. D.*³

¹ *MBA em Gestão Estratégica de Negócios, Indira Carriconde Machado, Anhanguera Educacional, indiracarriconde@yahoo.com.br.*

² *Mestre em Sistemas e Processos Industriais, Richard Silva Martins, IFSul Câmpus Avançado Novo Hamburgo, richardmartins@ifsul.edu.br.*

³ *Graduando em Engenharia Mecânica, Wilson Duarte Martins Junior, Universidade Santo Amaro, wilsondmjunior@hotmail.com.*

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

Resumo

Dentro de uma organização as atividades de trabalho devem ser orientadas na busca por atingir os melhores resultados possíveis. Dentre os vários pontos de coordenação das atividades de trabalho que possuem potencial de influenciar os resultados de uma organização estão as atividades relacionadas ao estoque de materias. Através das atividades de estoque é possível por exemplo aprimorar o fluxo de processos, os tempos de resposta aos clientes e os recursos financeiros da organização. O trabalho aborda as etapas para implantação de controle de estoque em uma empresa de prestação de serviços de internet e telefonia de pequeno porte do Vale dos Sinos, ou seja, o tema é apresentado por meio de um estudo de caso. Com a implantação do controle de estoque na empresa conseguiu-se perceber ganhos em relação a organização do trabalho com impacto em tempo das operações, otimização de espaços e disponibilidade de materiais. Uma atualização dos dados foi realizada por meio de inventario de materiais de estoque. Em seguida, com a organização dos espaços de almoxarifado e etiquetagem dos materiais conseguiu-se ganhos de tempo e espaço. Por fim, com a adoção de fichas de solicitação de materiais os ganhos se deram em relação ao controle de disponibilidade dos materiais. Conclui-se que, com a implementação de controle de estoque na empresa estudada, os ganhos em relação a organização do trabalho são significativos, a importância do estoque fica evidente na medida em que ele serve como amortecedor para as variações entre entradas e saídas dos processos da empresa.

Palavras-chave: Controle de Estoque; Empresa de Tecnologia; Planejamento e Implementação.

STOCK CONTROL: IMPLEMENTATION PLANNING IN A SMALL BUSINESS TECHNOLOGY COMPANY

Abstract

Exatamente o texto do resumo, vertido para o inglês.

Key words: Inventory control; Technology company; Planning and Implementation.

1 INTRODUÇÃO

1.1. Apresentação do trabalho

As atividades de trabalho devem ser orientadas na busca por atingir os melhores resultados possíveis. Essa afirmação sustenta-se na atual dinâmica de mercado onde quase não há empresas detentoras de exclusividade. Com os avanços tecnológicos surgem novos produtos que são colocados no mercado pela empresa desenvolvedora ou por outra empresa aquisitora da tecnologia. Em seguida, ocorre das empresas pertencentes ao mesmo seguimento de mercado se apropriarem das informações tecnológicas da novidade e incrementarem seus portfólios. Assim, a concorrência exige das empresas otimização de seus processos para que as mesmas mantenham capacidade de operação.

O contexto empresarial é complexo, com diversas dimensões de trabalho e pontos a observar para a execução de seus processos. Gestão de Pessoas, Marketing, Comercial, Financeiro e Produção podem ser citadas como exemplo de algumas dimensões de trabalho de uma organização. Dentre os vários pontos de coordenação das atividades de trabalho que possuem potencial de contribuir para os resultados de uma organização estão as atividades relacionadas ao estoque de materias.

Através das atividades de estoque, as quais impactam em diversas dimensões de uma organização, é possível por exemplo aprimorar o fluxo de processos, como o tempo de resposta aos clientes e os recursos financeiros da organização. Borges *et al*⁽¹⁾ salienta que para ter lucratividade a empresa deve possuir entre seus principais objetivos o menor custo de produção e prestação de serviços.

As atividades de armazenamento são fundamentais as empresas. Segundo Martelli e Dandaro:⁽²⁾ *“saber onde colocar, o que colocar, quanto de produto estocar, quais meios de transporte usar, mantendo uma gestão eficiente nesses processos, é de fundamental importância para a agregação de valor ao negócio”*.

Pereira *et al*⁽³⁾ afirma que gerenciar o estoque é de fundamental importância para a competitividade da empresa, sendo este um desafio para as empresas de pequeno porte em função de absorver grande parte de seus recursos financeiros.

Frente a esse potencial de contribuição, percebe-se a importância de se ter nas organizações o olhar atento dos gestores para as atividades envolvendo materiais e estoque. Nesse contexto, o presente artigo pretende apresentar a temática por meio de um estudo de caso em uma empresa de tecnologia de pequeno porte do Vale dos Sinos.

1.2. Revisão da Literatura

1.2.1. Estoque

Em uma organização os esforços são direcionados para a realização de processos com vista a entregar solução às necessidades dos clientes. Na realização de processos invariavelmente ocorre de consumir-se recursos. Os recursos necessários são das mais diversas ordens, recursos físicos, instruções, pessoas, softwares são exemplos de recursos aplicados ao desenvolvimento de processos

nas organizações. Em grande quantidade, os recursos utilizados, são caracterizados por possuírem atributos físicos, com tamanhos e formas das mais variadas, ou seja, em grande quantidade utiliza-se recursos materiais para realizar processos.

A partir disso, percebe-se a importância de organizar a movimentação destes recursos ao longo do desenvolvimento do processo. As formas de movimentação bem como os locais de armazenagem dos materiais caracterizam o que trata-se por estoque.

Para Borges *et al*⁽¹⁾; Martelli e Dandaro⁽²⁾ estoque é caracterizado como bens físicos que entram através de compra de produtos e por algum tempo permanecem na planta, porém, sem produtividade até sair por meio de venda ao cliente; há formação de estoques tanto de produtos acabados que aguardam venda ou despacho como também de matérias-primas e componentes que aguardam utilização pela produção.

Os estoques regulam o fluxo de negócios. Em uma organização a velocidade de mercadorias recebidas é comumente distinta da velocidade de uso das mesmas para a produção. Essa condição provoca a configuração de estoque, que acabam servindo como amortecedores dos processos. Além disso, pode-se citar diversas funções para o estoque: pronto atendimento as demandas de clientes, estes podendo ser internos ou externos; proteção a parte da cadeia de suprimento da falta de itens; redução de custos de preparação das linhas, das emissões de ordens de compra, por falha em atender a demanda; viabilizar a economia em escala nas compras e transporte; etc (LUSTOSA *et al*⁽⁴⁾; MARTINS e CAMPOS ALT⁽⁵⁾).

Segundo BORGES *et al*⁽¹⁾ um dos principais motivos para se ter um bom planejamento e controle de estoques é o grande impacto financeiro que é possível alcançar através do aumento da eficácia e eficiência das operações da Organização.

Em relação a forma de classificar os estoques, considerando a demanda, Martins e Campos Alt⁽⁵⁾ indicam duas classificações possíveis para estoque: demanda dependente e demanda independente. Os itens em que sua demanda decorre de pedidos de clientes externos ou que ainda não se caracterizem por incorporarem outros produtos são considerados de demanda independente. Já os de demanda dependente são caracterizados por sua utilização estar vinculada a outros produtos. Tomando como exemplo uma montadora de automóveis podemos entender o automóvel como um produto de demanda independente e os seus componentes como pneus, vidros e outros como de demanda dependente.

Lustosa *et al*⁽⁴⁾ conceituam os estoques considerando o tipo de material que o compõe, observando uma categorização em quatro possibilidades: a) estoque de matéria-prima; b) estoque de materiais indiretos necessários à operação dos processos (*Manutenance, Repair and Operating* - MRO; c) estoque de materiais em processo de transformação (*Work in Process* – WIP); e d) estoque de produtos acabados (PA).

No setor de serviços também se faz presente as atividades de gestão de estoque. Pela característica do produto em questão e considerando os impactos na forma de atendimento aos clientes, essencialmente o estoque de materiais auxiliares (MRO) é objeto de otimização.

1.2.2. Ferramentas de Controle de Estoque

As atividades de estoque, segundo Dos Santos *et al*⁽⁶⁾, são tratadas por meio de ferramentas que auxiliam na obtenção dos melhores índices de materiais. De um

lado há de se buscar garantir as operações da organização enquanto que do outro almeja-se reduzir o investimento de capital em materiais que fiquem parados na entrada, no decorrer ou na saída do processo.

Algumas ferramentas são tradicionalmente aplicadas quando o objeto em estudo é o estoque. O Inventário Físico como forma de realizar a conferência dos materiais é considerado o primeiro passo importante para qualquer configuração de estoque na empresa. Espaço físico específico de almoxarifado com acesso controlado e procedimento de organização e identificação visual dos materiais faz com que as atividades ganhem em controle e eficiência, pois assim a disponibilidade dos materiais bem como a reposição dos mesmos quando necessária tornam-se mais efetivos.

Para atender as demandas das organizações há necessidade de manter diversos tipos de itens em estoque. Revisões periódicas e direcionamento de esforços para os itens de maior importância são consideradas boas práticas. A concentração de esforços nos itens de maior importância é possibilitada pela aplicação da ferramenta Curva ABC ou gráfico de Parreto. Por meio dele é percebido as muitas consequências em função de poucas causas (Lustosa *et al* ⁽⁴⁾).

De mesmo modo, visando as atividades de gestão de estoques, acrescenta-se a utilização de indicadores que contribuem para melhores resultados. Dois indicadores trazem informações primordiais ao setor: indicador de cobertura de estoque e o indicador de giro de estoque. O primeiro indicador trata sobre a medida de tempo médio de duração do estoque sem haver novas reposições de estoque. O segundo, traduz uma medida do fluxo de itens que passam pelo estoque.

As reposições de estoque devem ser suficientes para manter os serviços da organização. Compras em quantidades excessivas acabam por utilizar os recursos financeiros da empresa e diminuir sua capacidade de gerar e diversificar seus ativos. Por outro lado a falta de materiais pode acarretar na impossibilidade de atendimento aos clientes.

Todavia, variações nos tempos de entrega dos materiais pelos fornecedores ou na quantidade de pedidos dos clientes são condições reais nas organizações e essas oscilações impactam diretamente no estoque. Uma forma de garantir a continuidade das atividades pode ser a aplicação do conceito de estoque de segurança. Assim sendo, o modelo de reposição de estoque deve ser aquele que garanta a continuidade dos processos da organização comprometendo o mínimo de recursos da mesma (Martins e Campus Alt ⁽⁵⁾).

Atualmente, com os recursos tecnológicos disponíveis, a utilização de Sistema de Controle através de recursos de softwares é comumente aplicada para as tarefas de gestão de estoque. Com o auxílio dessas ferramentas, os esforços de mão de obra são racionalizados e direcionados para a tomada de decisão.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia empregada neste artigo foi pesquisa de caráter exploratório e descritivo. Inicialmente a revisão bibliográfica sobre o tema é utilizada, por meio de livros e artigos científicos, produzindo assim uma análise qualitativa sobre o modelo de gestão de estoque adequado. Em seguida, na etapa descritiva, a aplicação em um estudo de caso é apresentada como forma de aplicação dos dados pesquisados.

Os serviços da empresa são prestados considerando que a entrega dos mesmos se dará utilizando os espaços de postes dispostos ao longo das vias públicas. Essa condição faz com que em muitos pontos ocorra o cruzamento de cabos da empresa com cabos dos demais concorrentes/fornecedores dos mesmos serviços. Sendo assim, os materiais necessitam ser padronizados para que seja possibilitada a identificação visual dos materiais da empresa nesses espaços de uso comum.

A empresa possui armazenagem de estoque em dois locais diferentes, um na própria sede da empresa e outro em local separado da sede. Aqui neste estudo adotaremos a denominação de almoxarifado 1 para o espaço que fica na sede da empresa e almoxarifado 2 para o espaço que fica fora da sede da empresa. Até o momento, a empresa não possuía informações de quais produtos estavam armazenados no almoxarifado 2, tão pouco de que maneira estavam armazenados os materiais que lá se encontravam. No almoxarifado 1 haviam dados sobre os materiais, porém com alguma defasagem de tempo.

Pela especificidade dos serviços da empresa os materiais dispostos nos espaços de estoque possuem alta diversidade. Isso causa condição de dificuldades para o conhecimento sobre a gama de materiais e, até mesmo, para a identificação dos mesmos na hora das movimentações de entrada e saídas. Os procedimentos de retirada de matérias são realizados por meio de formulário eletrônico ou por envio de mensagem. Apenas os materiais de maior valor possuem controle de retirada os demais.

Na empreitada de desenvolvimento deste projeto foi utilizado recursos bibliográficos, livros e artigos digitais, bem como os recursos físicos de planilhas eletrônicas para cálculos estatísticos no estudo de caso.

Como relação aos métodos empregados, aplicou-se a ferramenta de Pareto, curva ABC. No estudo, inicialmente um inventário físico foi elaborado com a listagem dos materiais da área técnica da empresa. Em seguida, a estratégia passou a ser a classificação dos materiais através do consumo nas atividades da organização. A técnica de Pareto foi aplicada. Após a classificação física tomou o foco no estudo. A reorganização dos espaços e distribuição física dos materiais com vistas a tornar as atividades de estoque mais ageis foi proposta. Por fim, um olhar para os procedimentos de pedido e retirada de material ocorreu.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

1º passo: Inventário.

Deu-se início a organização pelo local que fica separado da sede, almoxarifado 2. Inicialmente foi realizado o levantamento dos materiais que se encontravam fisicamente no espaço. Buscou-se classificar os mesmos em função do tipo de utilização, padronização, quantidade e condições de funcionamento. Os materiais que não estavam mais funcionando foram descartados e os que não atendiam a padronização atual da empresa foram negociados com fornecedores por outros produtos. Para os que não foi possível a negociação o destino foi o descarte. Com essa investida, percebeu-se que o espaço físico do local não é suficiente para armazenar os materiais. Uma investida em local novo espaço de maior área foi proposta a direção da empresa e, com isso, o processo de contratação está em execução.

A mesma organização se deu no ambiente em que se encontra juntamente com a matriz da empresa, foi feita a mesma classificação por tipos de matérias, identificação de padrões, levantamento de quantidade, e de mesmo modo foi separado os excessos para futuras negociações. A representação do espaço e suas condições do antes e do depois da realização da organização e feita com as figuras 1 e 2.



Figura 1. Espaço de estoque.



Antes

Depois

Figura 2. Organização do armário.

Elaborou-se uma planilha eletrônica com o nome de todos os materiais que a empresa possuía em estoque. Na planilha, além da identificação dos materiais, colocou-se a quantidade geral dos mesmos e atribuiu-se os lugares de armazenamento de cada item.

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	ESTOQUE MÍNIMO	Almoxarifado 1	Almoxarifado 2
CB-01	CABO FLEXÍVEL AZUL (2,5MM)	200	X	
CB-02	CABO FLEXÍVEL VERMELHO (2,5MM)	200	X	
CB-03	CABO FLEXÍVEL VERDE (2,5MM)	200	X	
CB-04	CABO FLEXÍVEL AZUL (6MM)	200	X	
CB-05	CABO FLEXÍVEL VERMELHO (6MM)	200	X	
CB-06	CABO FLEXÍVEL VERDE (6MM)	200	X	
CB-07	CABO AS120 - 12 VIAS	4000		X
CB-08	CABO AS120 - 24 VIAS	4000		X
CB-09	CABO FIG 8	4000	X	
CB-10	CABO LOW FRICTION	13	X	X
CB-11	CABO AS80 - 12 VIAS	4000		X
CB-12	CABO AS80 - 24 VIAS	4000		X
EQ-01	ONU HUAWEI	80	X	
EQ-02	ATA 2 PORTAS	30	X	
EQ-03	ATA 8 PORTAS	6	X	
EQ-04	E1	6	X	
EQ-05	ONU PARKS	20	X	
EQ-06	VDSL	15	X	
EQ-07	ROTEADOR WIFI	10	X	
EQ-08	GEPON	20	X	
EQ-09	MIKROTIK ROUTERBOARD	5	X	
EQ-10	SWITCH 8 PORTAS	5	X	
PÇ-001	CONECTOR APC	250	X	
PÇ-002	SUPORTE OLHAL	100	X	
PÇ-003	CONECTOR UPC	50	X	
PÇ-004	CAIXA DE BLOQUEIO	10	X	
PÇ-005	ACOPLADOR APC	370	X	
PÇ-006	ACOPLADOR UPC	50	X	
PÇ-007	PIGTAIL APC	48	X	
PÇ-008	PIGTAIL UPC	5	X	
PÇ-009	SPLITTER 1X16 CONECTORIZADO	20	X	
PÇ-010	CINTA INOX	500	X	
PÇ-011	PARAFUSO J	200	X	
PÇ-012	PARAFUSO M12	200	X	
PÇ-013	TUBO ESPIRAL	10	X	X
PÇ-014	SPLITTER 1X8 CONECTORIZADO	20	X	
PÇ-015	SPLITTER 1X4 CONECTORIZADO	20	X	
PÇ-016	SPLITTER 1X2 DESCONECTORIZADO	35	X	
PÇ-017	CORDÃO ÓPTICO LC/PC - LC/PC - 2,5M	15	X	
PÇ-018	CORDÃO ÓPTICO SC/APC - SC/APC - 2,5M	15	X	
PÇ-019	CORDÃO ÓPTICO SC/PC - SC/APC - 2,5M	20	X	
PÇ-020	CORDÃO ÓPTICO SC/APC - SC/APC - 1,5M	15	X	
PÇ-021	CAIXA EMENDA DROP	60	X	X
PÇ-022	MINI CEO 12FO	20	X	
PÇ-023	CAIXA DE EMENDA 96FO	10	X	X
PÇ-024	ESCOLTA GRANDE (CRUZETA ABS 50X50CM)	150	X	X
PÇ-025	ESCOLTA PEQUENA (MINI CRUZETA ABS 30X30CM)	100	X	X
PÇ-026	DIELÉTRICO LARANJA	100	X	
PÇ-027	ISOLADOR	400	X	
PÇ-028	SUPORTE BAP	200	X	X
PÇ-029	CAIXA NAP	20	X	X
PÇ-030	BANDEJA PARA CAIXA DE EMENDA	20	X	X
PÇ-031	OPTLOOP	50	X	X
PÇ-032	FITA AUTO FUSÃO	20	X	
PÇ-033	FITA ISOLANTE	80	X	
PÇ-034	FECHOS	400	X	
PÇ-035	ABRAÇADEIRA NYLON GRANDE TRANSPARENTE	400	X	
PÇ-036	ABRAÇADEIRA NYLON PEQUENA TRANSPARENTE	400	X	
PÇ-037	ABRAÇADEIRA NYLON PEQUENA PRETO	400	X	
PÇ-038	ALÇA PRÉ-FORMADA P/ CABO AS24	100	X	
PÇ-039	ALÇA PRÉ-FORMADA P/ CABO AS12	50	X	
PÇ-040	ALÇA PRÉ-FORMADA P/ CABO LOW FRICTION/FIGURA 8	150	X	
PÇ-041	ABRAÇADEIRA BAP 02	100	X	
PÇ-042	ABRAÇADEIRA BAP 03	100	X	
PÇ-043	ARAME DE ESPINAR	40	X	

Figura 3. Lista de materiais e suas posições no almoxarifado.

2º passo: Classificação dos materiais.

Considerando que a empresa se utiliza de modelo de reposição periódica, foi realizado, em conjunto com o setor de operações da empresa, o levantamento de estoque mínimo de cada item. Além disso, a aplicação da classificação ABC foi realizada. A ilustração do resultado da aplicação da técnica é exposta pela figura 4.

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	ESTOQUE MÍNIMO	R\$	VALOR DE INVENTÁRIO	PORCENTAGEM	CLASSIFICAÇÃO
CB-12	CABO AS80 - 24 VIAS	4000	R\$ 11,00	R\$ 44.000,00	19,47%	A
EQ-01	ONU HUAWEI	80	R\$ 280,00	R\$ 22.400,00	9,91%	
CB-08	CABO AS120 - 24 VIAS	4000	R\$ 4,83	R\$ 19.320,00	8,55%	
CB-11	CABO AS80 - 12 VIAS	4000	R\$ 3,85	R\$ 15.400,00	6,81%	
PÇ-010	CINTA INOX	500	R\$ 27,00	R\$ 13.500,00	5,97%	
CB-10	CABO LOW FRICTION	13	R\$ 1.020,00	R\$ 13.260,00	5,87%	
EQ-04	E1	6	R\$ 1.930,63	R\$ 11.583,78	5,13%	
CB-07	CABO AS120 - 12 VIAS	4000	R\$ 2,63	R\$ 10.520,00	4,65%	
EQ-07	ROTEADOR WIFI	10	R\$ 825,00	R\$ 8.250,00	3,65%	
EQ-02	ATA 2 PORTAS	30	R\$ 258,39	R\$ 7.751,70	3,43%	
CB-09	CABO FIG 8	4000	R\$ 1,56	R\$ 6.240,00	2,76%	
EQ-03	ATA 8 PORTAS	6	R\$ 976,60	R\$ 5.859,60	2,59%	
EQ-05	ONU PARKS	20	R\$ 230,00	R\$ 4.600,00	2,04%	
EQ-09	MIKROTIK ROUTERBOARD	5	R\$ 649,00	R\$ 3.245,00	1,44%	
EQ-08	GEPON	20	R\$ 160,00	R\$ 3.200,00	1,42%	
EQ-06	VDSL	15	R\$ 170,00	R\$ 2.550,00	1,13%	
PÇ-029	CAIXA NAP	20	R\$ 125,00	R\$ 2.500,00	1,11%	
EQ-10	SWITCH 8 PORTAS	5	R\$ 497,00	R\$ 2.485,00	1,10%	
PÇ-031	OPTLOOP	50	R\$ 45,00	R\$ 2.250,00	1,00%	
PÇ-022	MINI CEO 12FO	20	R\$ 105,00	R\$ 2.100,00	0,93%	
PÇ-024	ESCOLTA GRANDE (CRUZETA ABS 50X50CM)	150	R\$ 13,99	R\$ 2.098,50	0,93%	
PÇ-009	SPLITTER 1X16 CONECTORIZADO	20	R\$ 88,00	R\$ 1.760,00	0,78%	
PÇ-016	SPLITTER 1X2 DESCONECTORIZADO	35	R\$ 45,00	R\$ 1.575,00	0,70%	
PÇ-014	SPLITTER 1X8 CONECTORIZADO	20	R\$ 67,66	R\$ 1.353,20	0,60%	
PÇ-001	CONECTOR APC	250	R\$ 5,00	R\$ 1.250,00	0,55%	
PÇ-043	ARAME DE ESPINAR	40	R\$ 27,00	R\$ 1.080,00	0,48%	
PÇ-025	ESCOLTA PEQUENA (MINI CRUZETA ABS 30X30CM)	100	R\$ 8,50	R\$ 850,00	0,38%	
PÇ-027	ISOLADOR	400	R\$ 2,10	R\$ 840,00	0,37%	
PÇ-021	CAIXA EMENDA DROP	60	R\$ 13,99	R\$ 839,40	0,37%	
PÇ-002	SUPORTE OLHAL	100	R\$ 8,30	R\$ 830,00	0,37%	
PÇ-038	ALÇA PRÉ-FORMADA P/ CABO AS24	100	R\$ 8,00	R\$ 800,00	0,35%	
PÇ-042	ABRAÇADEIRA BAP 03	100	R\$ 7,34	R\$ 734,00	0,32%	
PÇ-028	SUPORTE BAP	200	R\$ 3,60	R\$ 720,00	0,32%	
PÇ-015	SPLITTER 1X4 CONECTORIZADO	20	R\$ 35,00	R\$ 700,00	0,31%	
PÇ-026	DIELÉTRICO LARANJA	100	R\$ 6,90	R\$ 690,00	0,31%	
PÇ-019	CORDÃO ÓPTICO SC/PC - SC/APC - 2,5M	20	R\$ 34,00	R\$ 680,00	0,30%	
PÇ-012	PARAFUSO M12	200	R\$ 3,20	R\$ 640,00	0,28%	
PÇ-041	ABRAÇADEIRA BAP 02	100	R\$ 6,28	R\$ 628,00	0,28%	
PÇ-023	CAIXA DE EMENDA 96FO	10	R\$ 59,90	R\$ 599,00	0,27%	
PÇ-007	PIGTAIL APC	48	R\$ 11,87	R\$ 569,76	0,25%	
PÇ-030	BANDEJA PARA CAIXA DE EMENDA	20	R\$ 28,00	R\$ 560,00	0,25%	
PÇ-032	FITA AUTO FUSÃO	20	R\$ 25,00	R\$ 500,00	0,22%	
PÇ-005	ACOPLADOR APC	370	R\$ 1,20	R\$ 444,00	0,20%	
PÇ-020	CORDÃO ÓPTICO SC/APC - SC/APC - 1,5M	15	R\$ 27,00	R\$ 405,00	0,18%	
CB-04	CABO FLEXÍVEL AZUL (6MM)	200	R\$ 1,85	R\$ 370,00	0,16%	
PÇ-017	CORDÃO ÓPTICO LC/PC - LC/PC - 2,5M	15	R\$ 24,00	R\$ 360,00	0,16%	
PÇ-033	FITA ISOLANTE	80	R\$ 4,50	R\$ 360,00	0,16%	
CB-05	CABO FLEXÍVEL VERMELHO (6MM)	200	R\$ 1,79	R\$ 358,00	0,16%	
CB-06	CABO FLEXÍVEL VERDE (6MM)	200	R\$ 1,79	R\$ 358,00	0,16%	
PÇ-011	PARAFUSO J	200	R\$ 1,60	R\$ 320,00	0,14%	
PÇ-003	CONECTOR UPC	50	R\$ 4,00	R\$ 200,00	0,09%	
CB-01	CABO FLEXÍVEL AZUL (2,5MM)	200	R\$ 0,94	R\$ 188,00	0,08%	
CB-02	CABO FLEXÍVEL VERMELHO (2,5MM)	200	R\$ 0,94	R\$ 188,00	0,08%	
PÇ-018	CORDÃO ÓPTICO SC/APC - SC/APC - 2,5M	15	R\$ 12,00	R\$ 180,00	0,08%	
PÇ-040	ALÇA PRÉ-FORMADA P/ CABO LOW FRICTION/FIGURA 8	150	R\$ 1,20	R\$ 180,00	0,08%	
CB-03	CABO FLEXÍVEL VERDE (2,5MM)	200	R\$ 0,89	R\$ 178,00	0,08%	
PÇ-035	ABRAÇADEIRA NYLON GRANDE TRANSPARENTE	400	R\$ 0,40	R\$ 160,00	0,07%	
PÇ-034	FECHOS	400	R\$ 0,33	R\$ 132,00	0,06%	
PÇ-006	ACOPLADOR UPC	50	R\$ 2,25	R\$ 112,50	0,05%	
PÇ-004	CAIXA DE BLOQUEIO	10	R\$ 9,00	R\$ 90,00	0,04%	
PÇ-039	ALÇA PRÉ-FORMADA P/ CABO AS12	50	R\$ 1,37	R\$ 68,50	0,03%	
PÇ-008	PIGTAIL UPC	5	R\$ 3,10	R\$ 15,50	0,01%	
PÇ-036	ABRAÇADEIRA NYLON PEQUENA TRANSPARENTE	400	R\$ 0,03	R\$ 12,00	0,01%	
PÇ-037	ABRAÇADEIRA NYLON PEQUENA PRETO	400	R\$ 0,03	R\$ 12,00	0,01%	
PÇ-013	TUBO ESPIRAL	10	R\$ 1,00	R\$ 10,00	0,00%	
			TOTAL	R\$ 226.013,44	100%	

Figura 4. Curva ABC.

Percebesse a importância de alguns materiais para os serviços da empresa. O destaque fica por conta dos itens referente a cabos, AS80 12 e 24 vias e AS120 12 e 24 vias, e equipamentos, ONU, E1 e Roteador wifi, que representam 64,04% do volume de investimento em materiais de consumo. Apenas um item de peças aparece na classificação A, a cinta inox que representa 5,97% do volume de investimento.

3º passo: Identificação visual.

Criou-se uma identificação visual para os materiais. Procedeu-se a colocação de um item para exemplo em frente ao maior número de unidades e, também, a identificação por escrito, através de placas personalizadas com o nome de cada item. Com essa ação a intenção foi tornar possível visualizar o item sem abrir o pacote de armazenamento. A representação dessa melhoria é mostrada por meio das figuras 05 e 06.



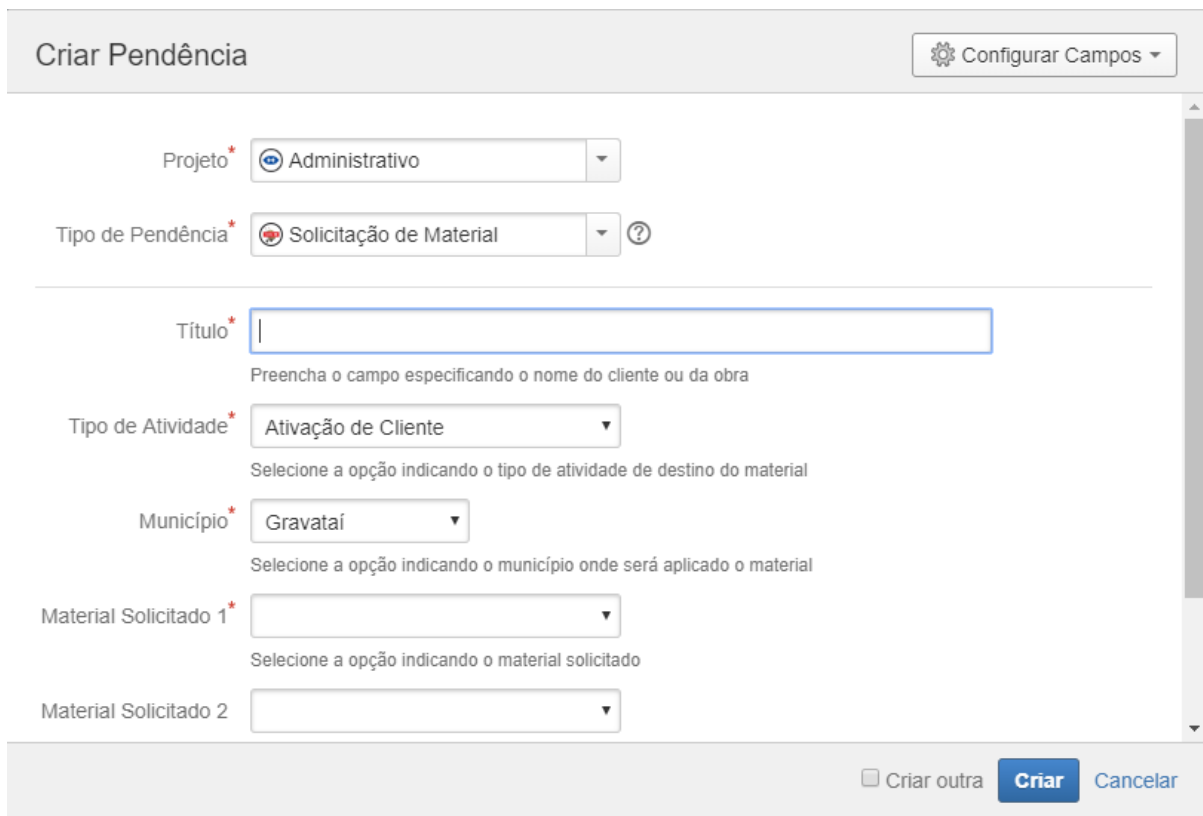
Figura 5. Etiquetas de identificação e exemplo de materiais.



Figura 6. Etiqueta de identificação e exemplo de materiais.

4º Passo: Retirada de matérias:

Foi criado um novo processo de retirada de materiais. Um sistema de controle de processos utilizados pela empresa foi trazido para as atividades de estoque. Um chamado é aberto no sistema e a partir dele ocorrem os processos pertinentes ao estoque. No chamado deve conter as informações de identificação do material, a quantidade demandada e a finalidade de uso. A representação da nova ferramenta de solicitações de materiais é feita por meio da figura 07 e da figura 08.



Criar Pendência Configurar Campos

Projeto *

Tipo de Pendência *

Título *

Preencha o campo especificando o nome do cliente ou da obra

Tipo de Atividade *

Selecione a opção indicando o tipo de atividade de destino do material

Município *

Selecione a opção indicando o município onde será aplicado o material

Material Solicitado 1 *

Selecione a opção indicando o material solicitado

Material Solicitado 2

Criar outra **Criar** Cancelar

Figura 7. Formulário de solicitação de material.



Materiais Estoque Salvar como Details Export Ferramentas

Administrativo Todos os Tipos... Classificado, A... Responsável: All Contains text More Avançado

ADM-573 Paulo Fernando Pocas Scherer

ADM-572 Jackson Moises Guedes da Silva

ADM-571 Galeteria RS 118 LTDA

ADM-570 Marcelo Schulz da Silva

ADM-568 Associação Comercial Industrial ...

ADM-567 Material Implantação - Bruno

ADM-566 Amarildo Albino Loregian

ADM-564 Marcos Paulo dos Santos Prates...

Administrativo / ADM-568 31 de 34

Associação Comercial Industrial de Serviços de Gravataí

Editar Comentário Atribuir Mais Classificar Exportar

Detalhes da Pendência

Tipo:

Situação: **CLASSIFICADO** (Ver Fluxo de Trabalho)

Prioridade:

Resolução: Não Resolvido

Tipo de Atividade: Ativação de Cliente

Município: Gravataí

Material Solicitado 1: ATA

Modelo ATA*: Khomp KAP208

Qtd Solicitada*: 1

SLAs

-23:45 Tempo de resolução dentro 4h 30m

Pessoas

Responsável:

Criador:

Votos:

Descrição

Figura 8. Pedido de material.

Para os equipamentos eletrônicos, que compõem o patrimônio da empresa, deve ainda ser informado o cliente a ser alocado o equipamento. Após o processamento do chamado pelo setor, o mesmo é devolvido ao solicitante com indicação de disponibilidade de retirada do material.

4 CONCLUSÃO

Pela observação dos aspectos analisados, percebe-se que o fato da empresa possuir a armazenagem de estoque em dois locais diferentes, acaba dificultando o controle de estoque da empresa, pois necessita de uma disponibilidade de colaboradores para acompanhamento de atividades de retirada de estoque e também a auditoria dos itens ficam prejudicados devido a distância dos mesmos.

O fato de todos os materiais estarem armazenados juntos, num mesmo local, facilitaria no processo de auditar o estoque, sabendo assim com mais precisão onde os materiais estão armazenados e evitando o acúmulo de materiais não utilizados pela empresa.

Após a reorganização do estoque, foi possível ter mais fluidez no processo de retirada de matérias, e ao mesmo tempo ter controle dos materiais dispensados para a execução das atividades. Logo foi possível estabelecer uma quantidade mínima necessária de materiais para o estoque, portanto, permanece o fluxo das atividades sem correr o risco de faltar materiais para as atividades.

REFERÊNCIAS

- 1 BORGES, T. C.; CAMPOS, M. S.; BORGES, E. C. Implantação de um Sistema Para o Controle de Estoques em uma Gráfica/Editora de uma Universidade. Revista Eletrônica Produção & Engenharia, v. 3, n. 1., p. 236-247, Jul./Dez. 2010.
- 2 MARTELLI, Leandro Lopez; DANDARO, Fernando. Planejamento e Controle de Estoque nas Organizações. Revista Gestão Industrial, v. 11, n. 02: p. 170-185, 2015.
- 3 PEREIRA, B. M.; CHAVES, G.; BELLUMAT, M. S.; BARBOZA, M. V.; DUTRA, R. V. Gestão de Estoque: Um Estudo de Caso em uma Empresa de Pequeno Porte de Jaguaré. XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Fortaleza, 2015.
- 4 LUSTOSA, L.; MESQUITA, M.; QUELHAS, O.; OLIVEIRA, R. Planejamento e Controle da Produção. 1ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.
- 5 MARTINS, P. G.; CAMPOS ALT, P. R. C. Administração de Materiais e Recursos Patrimoniais. São Paulo: Saraiva, 2009.
- 6 DOS SANTOS, T.S.; DA COSTA, D. R. M.; ALVES, L. F.; ROCHA, N. S.; DE SOUZA, S. C. Aplicação de Ferramentas de Gestão de Estoque e Custo: Um Estudo de Caso em uma Loja de Artigos e Acessórios para Automóveis em Marabá-PA. Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção. V. 5, n. 8, p. 98-116, 2017.

DETERMINAÇÃO DE HIDROCARBONETOS POLICICLICOS AROMATICOS EM SEDIMENTOS DA PRAIA DO PONTAL, ARROIO GRANDE, RS

Arduim, J.¹
Amaral, M.A.²
Silva, K. M.³
Sanches Filho, P.J.⁴

¹Pós Graduanda, Júlia Arduim, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense (IFSul), juliaarduim@hotmail.com

²Iniciação Científica, Maria Alice Amaral, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense (IFSul), marryalyce46@icloud.com

³Iniciação Científica, Katielen Mota da Silva, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense (IFSul), katielenmotta@gamil.com

⁴Professor Dr., Pedro José Sanches Filho, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense (IFSul), pjsans@ibest.com

Resumo

Este trabalho descreve a extração e análise de hidrocarbonetos no sedimento da Praia do pontal localizada na lagoa mirim. A extração foi realizada em um equipamento de banho ultrasonico. O extrato foi fracionado por cromatografia líquida preparativa, gerando duas frações principais: hidrocarbonetos saturados e hidrocarbonetos aromáticos (F2). A fração F2 foi analisada por cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas em um sistema GC/MS. Vários HPAs de importância ambiental foram identificados e suas estruturas sugerem contaminação de origem petrogênica. A análise quantitativa apresentou baixas concentrações o que indica um local pouco afetado por atividades antrópicas e se enquadra nos níveis de qualidade de sedimento.

Este estudo apresenta o objetivo e a inovação de avaliar a presença e os níveis de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) em amostras de sedimentos da Praia do Pontal, tendo em vista que esta é usada para recreação e abastecimento publico para as comunidades ao redor.

Palavras-chave: GC/MS, ultrassom, contaminante orgânico.

DETERMINAÇÃO DE HIDROCARBONETOS POLICICLICOS AROMATICOS EM SEDIMENTOS DA PRAIA DO PONTAL, ARROIO GRANDE, RS

Abstract

This work describes the extraction and analysis of hydrocarbons in the Praia do Pontal sediment located in the mirim lagoon. The extraction was performed in an ultrasonic bath. The extract was fractionated by preparative liquid chromatography, generating two major fractions: saturated hydrocarbons and aromatic hydrocarbons (F2).

The F2 fraction was analyzed by gas chromatography coupled to mass spectrometry in a GC / MS system. Several PAHs of environmental importance were identified and their structures suggest contamination of petrogenetic origin. The quantitative analysis showed low concentrations, which indicates a site that is not affected by anthropogenic activities and is included in the levels of sediment quality.

This study presents the objective and the innovation to evaluate the presence and levels of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Pontal Beach sediment samples, since it is used for recreation and public supply to the surrounding communities.

Key words: GC/MS, ultrasound, organic contaminant

1 INTRODUÇÃO

A praia do pontal faz parte da bacia hidrográfica da Lagoa Mirim, que está localizada entre os paralelos 31°30' e 34°30'S e entre os meridianos 52° e 56°O, correspondendo a uma superfície de aproximadamente 62.250 km², dos quais 29.250 km² (47%) em território brasileiro e 33.000 km² (53%) em território uruguaio, constituindo uma bacia transfronteiriça onde prevalece o regime de águas compartilhadas (Tormam, et. al., 2017)¹.

O principal uso das águas da Lagoa Mirim consiste nas extrações diretas para a irrigação das lavouras de arroz, tanto em território brasileiro como no uruguaio e, também, como fonte de água potável para as populações que a circundam. A Lagoa Mirim e o complexo de áreas úmidas em seu entorno formam uma das principais bacias hidrográficas transfronteiriças da América do Sul, possuindo importância ecológica e econômica ligadas à agricultura, à indústria e à pecuária, tanto para o estado do Rio Grande do Sul, quanto para o Uruguai (Oliveira et al., 2015)².

Em estudos realizados por Santos, 2003³, foi caracterizado os sedimentos em diversos pontos desta lagoa, que apresentaram uma mistura com larga predominância de quartzo, teores menores de feldspatos alcalinos e entre os argilo-minerais predominaram a esmectila e illita.

Os sedimentos são reconhecidos como destinos finais para contaminantes que são facilmente adsorvidos por partículas materiais, e o sedimento de fundo funciona como um reservatório de contaminantes hidrofóbicos (VOLKMAN, 1992)⁴. Por conseguinte, os sedimentos podem deter e liberar substâncias poluentes causando danos à biota, muito tempo depois da entrada inicial de poluição. Esses contaminantes podem ser liberados lentamente e são bioacumulativos em organismos que habitam dentro e em volta do sedimento (TOLOSA, 2005)⁵.

Um dos contaminantes ambientais mais presentes em sedimentos são os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs). Esses compostos possuem toxicidade aos organismos devido ao seu potencial carcinogênico e mutagênico. A presença de HPAs nos sedimentos pode ser utilizada como indicação de contaminação por óleo, combustíveis, queimadas e entre outros (Luz, et al., 2010)⁶. Os 16 HPAs que são listados como poluentes prioritários pela *United States Environmental Protection Agency* (USEPA) e a União Europeia (EU) são divididos em duas classes: compostos com baixa massa molecular (Naftaleno, Acenaftileno, Acenafteno, Fluoreno, Fenantreno, e Antraceno) e com alta massa molecular (Fluoranteno, Pireno, Benzo(a)Antraceno, Criseno, Benzo(b)Fluoranteno, Benzo(k)Fluoranteno, Benzo(a)Pireno, Dibenzo(a,h)Antraceno, Benzo(g,h,i)Perileno, Indeno(1,2,3-cd)Pireno) (Vieira, 2009)⁷.

Os HPAs são formados a partir da combustão incompleta da matéria orgânica, como madeira, carvão e derivados petroquímicos (Ziegenhals, et al., 2008⁸; Vieira, 2009⁷) e possuem uma baixa solubilidade em água, são facilmente adsorvidos em material particulado e por isso os sedimentos agem como reservatório para contaminantes hidrofóbicos. (Azevedo, et al., 2013⁹; Luz, et al., 2010⁶).

Este estudo apresenta o objetivo e a inovação de avaliar a presença e os níveis de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) em amostras de sedimentos da Praia do Pontal, tendo em vista que esta é usada para recreação e abastecimento público para as comunidades ao redor, buscar as possíveis origens de contaminação destes compostos e comparar os resultados com os níveis de efeito limiar e provável, estabelecidos pelo SQG (guideline quality sediment).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A Praia do Pontal faz parte da bacia hidrográfica da Lagoa Mirim, representada na figura 1, está localizada no sul do estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas 31°30' e 34°35' de latitude Sul e 53°31' e 55°15' de longitude Oeste, correspondendo a uma área de 62.250 km²(Fia et al., 2009)¹⁰. A Lagoa Mirim e o complexo de áreas úmidas em seu entorno formam uma das principais bacias hidrográficas transfronteiriças da América do Sul, possuindo importância ecológica e econômica ligadas à agricultura, à indústria e à pecuária, tanto para o estado do Rio Grande do Sul, quanto para o Uruguai (Oliveira et al., 2015)².

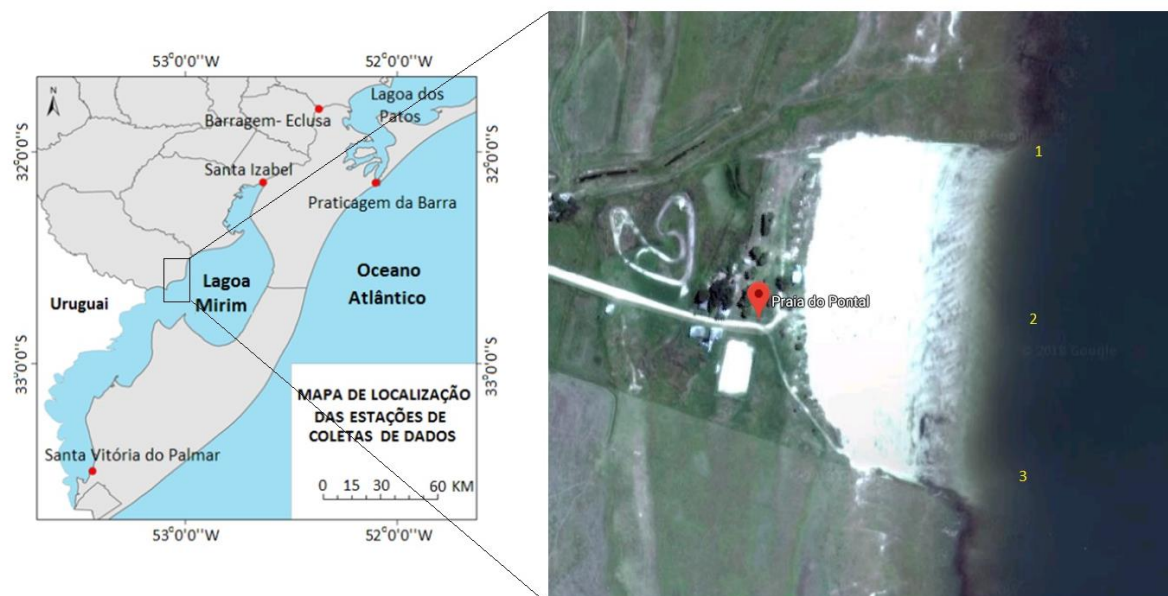


Figura 1: Localização da Praia do Pontal, adaptado de Oliveira, et. al. (2015).

O clima da região, segundo classificação de Köppen, é subtropical de verão úmido e quente, do tipo Cfa, com temperaturas médias dos meses mais quentes superiores a 22°C e dos mais frios inferiores a 18°C, e precipitação pluvial média anual de 1.450 mm (Kotzian e Marques, 2004)¹¹.

O principal uso das águas da praia do pontal consiste nas extrações diretas para a irrigação das lavouras de arroz, tanto em território brasileiro como no uruguaio

e, também, como fonte de água potável e para recreação das populações que a circundam (Oliveira et al., 2015)².

2.2 METODOLOGIA

2.3 Amostragem e Caracterização Preliminar

Para desenvolvimento deste estudo, três amostras (P1, P2, e P3) de sedimentos foram coletadas com uma draga de aço inoxidável do tipo “Van Veen”, como descrito por Mozeto, 2007¹², as margens da Praia do Pontal em pontos distintos, como demonstrados na figura 1.

O material coletado foi retirado e armazenado em potes de vidro previamente descontaminados. Após a coleta as amostras foram devidamente transportadas e armazenadas a 4°C. Parte das amostras foi reservada para determinação de umidade, matéria orgânica (M.O.), granulometria e pH.

A determinação da matéria orgânica no sedimento foi realizada por perdas de voláteis, a uma temperatura de 550°C, por um período de 4 horas (APHA, 2005)¹³. A análise granulométrica foi realizada pelo método descrito por Suguio, 1973¹⁴ que consiste em peneirar o sedimento utilizando a escala de Wertworth, por tamanhos dos grãos: grão (2 mm), areia muito grossa (1 mm), areia grossa (500 µm), areia média (250 µm), areia fina (125 µm), areia muito fina (63 µm), fundo (< 63 µm).

A umidade foi avaliada com cerca de 10 g de amostra em estufa com a 105°C, durante 24 horas (APHA, 2005)¹³.

O pH do sedimento irá ser determinado em suspensão utilizando a proporção 1:2 (sedimento/água do mesmo ponto) como empregada por Yoon et al., 2006.¹⁵

2.4 Extração por Ultrassom

A extração dos analitos, de 20g de amostra úmida, foi feita em banho de ultrassom, utilizando como solventes uma mistura de hexano e acetona 1:1 em 3 ciclos de 30 minutos, com 1 filtragem a cada ciclo, seguindo o descrito pela EPA 3550. O filtrado recolhido foi reduzido para aproximadamente 10 mL, em evaporador rotativo, à vácuo. Em seguida, com o uso de diclorometano (DCM), o volume foi transferido para béquer e mantido em dessecador, até completa secagem.

Os extratos secos foram fracionados em uma coluna líquida preparativa para obtenção da fração de hidrocarbonetos. A coluna preparada com camadas seqüenciais de 1g de Na₂SO₄ anidro (ativado por 12 horas em estufa a 50°C), 1 cm de agulhas de cobre, 3,2g de Sílica (5% desativada), 1,8g de Alumina (2% desativada) e nova camada de 1g de Na₂SO₄ e a fase móvel utilizada para a extração dos Hidrocarbonetos saturados será composta por 20 ml de hexano (UNEP, 1992)¹⁶.

2.5 Análise por Cromatografia Gasosa Acoplada com Espectrômetro de Massas

O volume das amostras será ajustado a 1,0 mL com diclorometano, sob um fluxo suave de nitrogênio para análise por Cromatografia Gasosa acoplada ao espectrômetro de massas. Para metodologia otimizada partindo de uma massa menor o volume será de 100 µL.

Uma alíquota de 1µL de cada extrato (em triplicata) será automaticamente injetada em modo splitless, em um cromatografo gasoso acoplado ao espectrômetro

de massas GC/MS-QP2010 Ultra equipada com um sistema de aquisição de dados Shimadzu. As condições cromatográficas são mostradas na tabela 2. A quantificação dos HPAs será adquirida em modo SIM (single-íon monitoring). A identificação do composto irá se basear nos espectros de massa e o tempo de retenção de cada analito.

A fim de verificar o desempenho do método cromatográfico e quantificar os HPAs uma curva de calibração foi construída dentro de uma faixa de 20-200 $\mu\text{g L}^{-1}$.

Tabela 1: Condições cromatográficas para a análise de GC/MS.

Parâmetro	Especificação
Coluna	RTx-5ms coluna (30m x 0,25 mm d.i. x 0,25 μm espessura de filme (J & W Scientific, Folson, CA, USA)
Modo de Injeção	Splitless
Temperatura do injetor	280°C
Temperatura da interface	200°C
Ionização	Eletrón-Impacto (EI) em 70 eV
Gás de transporte/fluxo	Hélio (1,0 mL min ⁻¹)
Temperatura do forno (F2)	Temperatura inicial 80°C (5min) 8°C min ⁻¹ , 160°C, (0min), 3°C min 280°C ¹ (15 min).
Temperatura do forno (F1)	Temperatura inicial 60°C (5min) 8°C min ⁻¹ , 160°C, (0min), 3°C min 280°C ¹ (15 min).
Íons Monitorados (modo SIM)	m/z: 128, 152, 154, 166, 178, 202, 228, 252, 276, 278
HPAs	
Íons Monitorados (modo SIM)	m/z: 188, 240, 264
HPAs Deuterados	

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização Preliminar

Os resultados obtidos através do estudo preliminar que aborda a granulometria do sedimento de diferentes pontos de amostragem. Como podem ser visualizados na figura 2, os sedimentos dos três locais de coleta possuem uma homogeneidade em sua granulometria, sendo predominante os grãos de 0,125 e 0,63 mm. As amostras P2 e P3 tiveram uma porcentagem de respectivamente 58 e 56,9% de grãos 0,125 mm, já a amostra P1 apresentou 62% de sua composição 0,63 mm, conferindo para as amostras, as características de areia fina e muito fina, de acordo com a escala Wertworth.

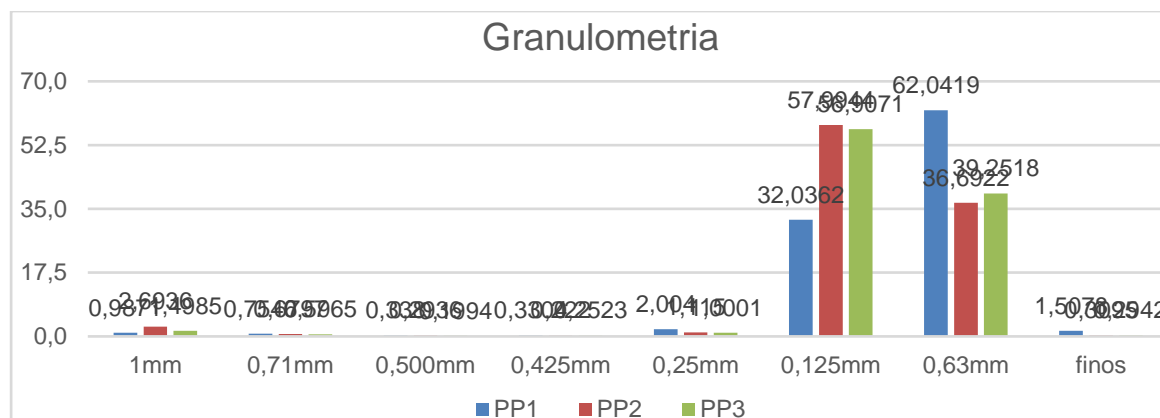


Figura 2: Análise de Granulometria dos sedimentos da praia do pontal (%).

A tabela 2, apresenta os resultados de matéria orgânica, pH e umidade para as três amostras. Nesse estudo foi possível verificar a baixa concentração de matéria orgânica no sedimento, que variou entre 0,5 a 1,7%, valores que foram similares aos resultados obtidos por Santos 2003³, que obteve 0,21 a 2,4% de matéria orgânica em sedimentos da lagoa mirim. Em estudos feito por Luz, et, al. 2010⁶, em amostras de sedimento da Colonia Z3, praia do Laranjal, foram encontrados valores entre 0,2 a 1,7% de matéria orgânica, o que mostra um padrão de baixas concentrações de MO nos sedimentos da região.

Entre as amostras houve baixa variação nos níveis de umidade, que foi de 24,8 a 27,4%, já os resultados de pH mantiveram-se na zona do neutro, entre 6,5 a 7, esses resultados são similares aos obtidos por Santos 2003³, que encontrou um valor médio para pH dos sedimentos da lagoa mirim de 6,81.

Tabela 2: Análise de matéria orgânica, pH e umidade das amostras de sedimento da praia do pontal.

Ponto	Matéria Orgânica (%±RSD%)	pH	Umidade (%±RSD%)
P1	0,8±15,6	6,9	24,8±2,1
P2	0,5±23,3	7,2	25,3±1,6
P3	1,7±1,9	6,4	27,4±1,6

RSD – desvio padrão relativo;

De acordo com as análises realizadas, os pontos P1 e P3 possuíram uma menor granulometria e apresentaram índices de matéria orgânica mais elevados quando comparados com a amostra P2. Essas características são fatores que podem indicar um potencial para a acumulação de poluentes orgânicos, incluindo os HPAs. (Gu, 2017)¹⁷

3.2 Figuras de mérito

A figura de mérito para o método proposto para análise de HPAs em sedimento da praia do pontal pode ser observado na tabela 3. A resposta linear através do coeficiente de correlação variou de 0,991 – 0,999 para faixa de trabalho estudado (5 a 200 µg L⁻¹) e a precisão do método foi considerada aceitável, com o desvio padrão

relativo que variou de 4,8 a 18,1%, esta precisão pode ser comparada com o estudo em sedimento, água viva e corais feito por Xiang et. al, 2018¹⁸, que obteve resultados entre 6 a 22%.

Tabela 3: Figura de mérito

HPAs	r ²	a	b	Exatidão ER%	Precisão RSD%	LD µgKg ⁻¹	LQ µgKg ⁻¹
Naftaleno	0,996	1732,6	9292,9	0,2	4,8	0,004	0,014
Acenaftileno	0,999	947,4	6846,1	0,3	7,1	0,007	0,023
Acenafteno	0,998	1099,6	6846,1	6,5	12,1	0,007	0,022
Fluoreno	0,995	478,6	3122,9	0,6	5,6	0,014	0,047
Fenantreno	0,997	428,9	4672,1	0,1	7,1	0,014	0,046
Antraceno	0,999	349,5	3949,0	0,3	6,5	0,017	0,057
Fluoranteno	0,999	438,8	5428,4	0,4	7,9	0,013	0,045
Pireno	0,999	526,4	5227,3	0,2	12,9	0,011	0,037
Benzo(a)Antraceno	0,999	254,7	3232,9	0,1	18,1	0,021	0,069
Criseno	0,999	269,9	3367,9	0,6	10,7	0,020	0,065
Benzo(k)Fluoranteno	0,998	222,7	2042,5	0,8	14,6	0,035	0,117
Benzo(b)Fluoranteno	0,996	266,8	2486,2	1,4	13,8	0,029	0,098
Benzo(a)Pireno	0,998	175,0	2959,6	0,9	10,9	0,045	0,149
Benzo(g,h,i)Perileno	0,995	121,2	866,6	1,3	14,3	0,054	0,180
Dibenzo(a,h)Antraceno	0,997	97,5	225,3	1,2	15,0	0,067	0,224
Indeno(1,2,3-cd)Pireno	0,991	129,9	1047,5	2,2	14,0	0,041	0,136

Y= aX+b (a - coeficiente angular; b - coeficiente linear); r² - coeficiente correlação linear; ER – erro relativo; RSD – desvio padrão relativo; LD – limite de detecção; LQ – limite de quantificação;

A análise da exatidão foi feita a partir do cálculo de erro relativo que obteve resultados entre 0,1 a 6,5%, esses valores demonstram um método exato, pois não houve grandes variações nas análises.

Os limites de detecção foram calculados a partir de três vezes o desvio padrão divididos pelo coeficiente angular da reta e o limite de quantificação, dez vezes o desvio padrão do branco dividido pelo coeficiente angular. Os resultados para os limites de detecção que mostraram uma variação de 0,004 a 0,067 µg Kg⁻¹, limites que demonstram baixas concentrações quando comparados com os dados obtidos por Luz et. al, 2010⁶, que apresentou variações para limite de detecção de 0,11 a 0,93 µg Kg⁻¹. Os resultados para limite de quantificação variaram entre 0,014 a 0,224 µg Kg⁻¹,

entre os estudos realizados pode se citar Souza et. al, 2018¹⁹, que obteve um valor médio de 0,2 ng g⁻¹.

3.3 Resultados de HPAs em Sedimento da Praia do Pontal

De forma geral, foram encontrados HPAs em todas as amostras analisadas, predominando compostos de menor peso molecular de 3 e 4 anéis benzênicos, estes podem estar relacionados com combustões de origem petrogênicas.

Na tabela 4 são apresentados os HPAs que foram analisados qualitativamente e quantificados através dos limites (LOD e LOQ) calculados, os demais 16 HPAs prioritários não foram detectados.

Tabela 4: Concentrações de HPAs em sedimento da Praia do Pontal, Arroio Grande, RS.

HPAs	P1 (μgKg^{-1} $\pm\text{RSD}\%$)	P2 (μgKg^{-1} $\pm\text{RSD}\%$)	P3 (μgKg^{-1} $\pm\text{RSD}\%$)	TEL $\mu\text{g Kg}^{-1}$	PEL $\mu\text{g Kg}^{-1}$
Naftaleno	<LQ	0,02 \pm 0,32	0,02 \pm 1,03	34,6	391,0
Fenantreno	1,30 \pm 19,61	0,89 \pm 12,12	1,55 \pm 9,58	86,7	544,0
Antraceno	0,19 \pm 9,36	0,34 \pm 10,60	0,24 \pm 13,78	46,9	245,0
Fluoranteno	0,07 \pm 1,91	0,30 \pm 4,65	0,19 \pm 21,80	113,0	1494,0
Pireno	0,09 \pm 1,91	0,31 \pm 6,65	0,22 \pm 25,61	153,0	1398,0
Benzo(k)Fluoranteno	0,04 \pm 1,50	0,30 \pm 14,03	0,17 \pm 19,37	-	-
Σ HPAs	1,70	2,247	2,388		

P1 – amostra 1; P2 – amostra 2; P3 – amostra 3; TEL – nível de efeito limiar; PEL – nível de efeito provável; TEL/PEL, valores de: <http://response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/SQuiRTs.pdf> (2017). (Souza, et. al, 2018)¹⁹

O composto majoritário nas três amostras foi o fenantreno, que apresentou resultados entre 0,89 \pm 12,12 μgKg^{-1} a 1,55 \pm 9,58 μgKg^{-1} , em estudos feitos por Luz, et, al., 2010⁶ foram encontrados valores similares para este composto, as concentrações variaram de 0,52 \pm 26.5 μgKg^{-1} a 1,1 \pm 22.8 μgKg^{-1} , neste mesmo estudo pode se analisar que os compostos de baixo peso molecular são os HPAs que possuem maior concentração.

Para as análises de Naftaleno do ponto P1, foi possível a detecção, porém as concentrações encontradas foram abaixo dos limites que quantificação, já nas amostras P2 e P3, não houve uma grande variação deste composto. Em análises realizadas por Xiang et, al., 2018¹⁸, também não foi possível a quantificação do naftaleno e os resultados para antraceno foram similares aos do presente estudo.

Sanches Filho et, al., 2012²⁰, em seu estudo sobre HPAs na praia do Laranjal, apresentou valores de 0,6 \pm 6,4 μgKg^{-1} e 0,7 \pm 21,2 μgKg^{-1} para fluoranteno e pireno,

respectivamente. Esses dados podem ser comparados com os resultados obtidos na amostra P2 de sedimento da Praia do Pontal que foram de $0,30 \pm 4,65 \mu\text{gKg}^{-1}$ e $0,31 \pm 6,65 \mu\text{gKg}^{-1}$, o que sugere um perfil homogêneo para a concentração destes contaminantes nesta região.

O somatório de HPAs variou de 1,7 a $2,38 \mu\text{gKg}^{-1}$, o qual comparado a outros estudos já citados no trabalho, foi extremamente baixo, devido à ausência da maioria dos 16 HPAs prioritários pela USEPA nas amostras de sedimento na Praia do Pontal. Também foi comparado a concentração destes contaminantes com os níveis de efeito limiar e efeito provável (TEL e PEL), os quais apresentaram valores a baixo de ambos os níveis, cumprindo assim as normativas para sedimento segundo o SQGs (sediment quality guidelines).

4 CONCLUSÃO

Após a análise de diversos parâmetros no sedimento da Praia do Pontal, Arroio Grande, RS, constatou-se que, para os pontos amostrados, os resultados encontrados quanto aos HPAs, de maneira geral, foi possível observar o efeito diluidor da lagoa sob os compostos estudados. O uso da cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas (GC/MS) permitiu identificar diversos hidrocarbonetos poliaromáticos de importância ambiental e referidos na lista de contaminantes da USEPA. A análise qualitativa dos HPAs indica a possibilidade de contaminações de origem petrogênica. Para uma confirmação, quanto ao grau de contaminação dos pontos estudados, um estudo quantitativo continua sendo desenvolvido pelo GPCA - Grupo de Pesquisa em Contaminantes Ambientais do Instituto Federal Sul-rio-grandense.

O conjunto dos resultados obtidos, para os parâmetros estudados, aponta para uma região com baixos níveis de contaminação e muito pouco impactada em função das atividades antrópicas.

Agradecimentos

Ao Grupo de Pesquisa em Contaminantes Ambientais.

Ao Programa de Pós Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais.

REFERÊNCIAS

- 1 TORMAM, Mylena Feitosa et al. Variabilidade sazonal da qualidade da água na Lagoa Mirim, RS, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, v. 4, n. 2, p. 54-59, 2017
- 2 OLIVEIRA, Heline Alves de et al. Processos hidrológicos e hidrodinâmicos da Lagoa Mirim. 2015.
- 3 SANTOS, Isaac Rodrigues et al. Metais pesados em sedimentos superficiais da Lagoa Mirim, fronteira Brasil-Uruguai. **Geochimica brasiliensis**, v. 17, n. 1, 2003.

- 4 VOLKMAN, John K. et al. Identification of natural, anthropogenic and petroleum hydrocarbons in aquatic sediments. **Science of the Total Environment**, v. 112, n. 2-3, p. 203-219, 1992.
- 5 TOLOSA, Imma et al. Aliphatic and aromatic hydrocarbons in marine biota and coastal sediments from the Gulf and the Gulf of Oman. **Marine pollution bulletin**, v. 50, n. 12, p. 1619-1633, 2005.
- 6 LUZ, Luiza Placidina et al. Evaluation of surface sediment contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons in colony Z3—(Patos Lagoon, Brazil). **Microchemical Journal**, v. 96, n. 1, p. 161-166, 2010.
- 7 VIEIRA, M. A. **Análise de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) nas etapas do processamento da erva-mate (*Ilex paraguariensis*) e caracterização química dos resíduos da trituração para o desenvolvimento de produto**. 2009. Tese (Doutorado em Ciências dos Alimentos) – programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2009.
- 8 ZIEGENHALS, Katja; JIRA, Wolfgang; SPEER, Karl. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in various types of tea. **European Food Research and Technology**, v. 228, n. 1, p. 83-91, 2008.
- 9 AZEVEDO, Julie Anne Holanda; DOS SANTOS ARAÚJO, Rinaldo; SILVA, Glória Maria Marinho. Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos atmosféricos de fontes automotivas: uma breve revisão. **Holos**, v. 1, p. 102-114, 2013.
- 10 FIA, Ronaldo et al. Estado trófico da água na bacia hidrográfica da Lagoa Mirim, RS, Brasil. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 4, n. 1, 2009.
- 11 KOTZIAN, Henrique B.; MARQUES, David Motta. Lagoa Mirim e a convenção Ramsar: um modelo para ação transfronteiriça na conservação de recursos hídricos. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 1, n. 2, p. 101-111, 2004.
- 12 MOZETO, A. A. Sedimentos e particulados lacustres: amostragens e análises biogeoquímicas. **Amostragem em Limnologia. São Carlos: RiMa**, p. 295-320, 2004.
- 13 APHA, Standard Methods for the Examination of Wather and **Wastewater, 21° edition**, 2005.
- 14 Suguio, K., 1973. Introdução à sedimentologia. 1a Edição. Editora Edgard Blücher/EDUSP, São Paulo, 317p.
- 15 YOON, Joonki et al. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. **Science of the total environment**, v. 368, n. 2-3, p. 456-464, 2006.
- 16 UNEP - United Nations Environment Programme. **Determination of petroleum hydrocarbons in sediments**. References Methods for Marine Pollution studies. 1992.

17 GU, Yang-Guang; LI, Hua-Bing; LU, Hui-Bin. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediments from the largest deep plateau lake in China: Occurrence, sources and biological risk. **Ecological engineering**, v. 101, p. 179-184, 2017.

18 XIANG, Nan et al. Occurrence and distribution of Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in seawater, sediments and corals from Hainan Island, China. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 152, p. 8-15, 2018.

19 SOUZA, Michel RR et al. Concentration, distribution and source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in Poxim River sediments, Brazil. **Marine pollution bulletin**, v. 127, p. 478-483, 2018.

20 SANCHES FILHO, Pedro José et al. Evaluation of surface sediment contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons in the “Saco do Laranjal”–(Patos Lagoon, Brazil). **Marine pollution bulletin**, v. 64, n. 9, p. 1933-1937, 2012.

MEDIDOR DE ENERGIA PARA INJETORA USANDO ARDUINO

Camargo, R.¹
De Barba, D.²

¹ Engenheiro, Robson Camargo, DELCON SI, robson@delconsi.com

² Doutor, Durval João De Barba Jr., IFSul, debarbajr@sapucaia.ifsul.edu.br

Resumo

Este trabalho visa determinar a energia elétrica consumida por uma injetora usando Arduino para estudo de melhorias na Avaliação do Ciclo de Vida. Contempla o estudo da instrumentação adequada, execução de protótipo e desenvolvimento de software para armazenamento das informações. Por fim, a proximidade dos resultados das amostras e a comparação dos resultados de forma manual com um amperímetro, comprovaram que os resultados obtidos pelos sensores e Arduino são confiáveis.

Palavras-chave: Instrumentação usando Arduino; Análise do Ciclo de Vida; Consumo energético em injetora.

POWER DEVICE FOR INJECTING MOLDING MACHINE USING ARDUINO

Abstract

This article has as objective discovery the power energy electrical for a injection machine using Arduino, for study of improvements in Life Cycle Assessment. Consider the instrumentation study, making of a prototype and design of a software to save data. Finally, the proximity of the results of the samples and the comparison of the results manually with an ammeter, proved that the results obtained by the sensors and Arduino are reliable.

Key words: Instrumentation using Arduino; Life Cycle Assessment; energy consumption in injecting machine.

1 INTRODUÇÃO

As máquinas de grande porte, como injetoras, de onde são retirados os dados para estudo deste trabalho, geram um grande consumo de energia das mais variadas formas. Mesmo em dias atuais, ainda não se tem precisão sobre os dados energéticos de saída da máquina. Sendo assim, este trabalho pretende responder o seguinte questionamento: como pode ser desenvolvido um medidor e como o projeto do mesmo pode ser implementado?

Ao mesmo tempo que o cenário atual exige que empresas foquem suas atenções para a eficiência energética, para que possam ser mais competitivas, gastando somente o necessário e, para que se enquadrem na tendência mundial que é de ter corporações cada vez mais sustentáveis, também, é necessário, obter informações confiáveis para que se conheça o total de energia consumida e, para

que planos de ações sejam embasadas em informações precisas da máquina injetora⁽¹⁾.

Esta pesquisa contempla o estudo da energia elétrica consumida por uma máquina injetora, na qual foi determinada os sensores para instrumentação, executado um protótipo e desenvolvido um software para o armazenamento das informações com a finalidade de determinar a energia elétrica consumida por uma injetora usando Arduino, para que sirva de embasamento para melhorias na Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) do equipamento.

Por fim, um dos mais importantes aspectos da sustentabilidade atual está contida nesta proposta, que visa obter as informações *in loco* de uma máquina injetora, para posteriormente, permitir que soluções de economia sejam implementadas por empresas ou para que os dados sejam utilizados em banco de dados de análise⁽²⁾.

Existe diferenciação nos tipos de injetoras, que se classificam em injetoras elétricas ou hidráulicas. Este trabalho contempla o estudo do consumo de energia em injetoras hidráulicas por estas serem mais utilizadas no meio industrial.

Atualmente ocorre uma limitação para que empresas obtenham a informação do consumo total de energia de uma máquina injetora porque, praticamente, somente é descoberto por meio de um cálculo utilizando a potência total instalada, que consta na placa de identificação da máquina. Cada movimento da máquina, independente de qual seja, gera algum consumo de energia na máquina porque precisa realizar trabalho mecânico para determinada função. Entre os principais movimentos está o fechamento e abertura das placas, avanço e recuo do extrator, avanço e recuo da unidade de injeção, injeção e retorno da rosca. Sabe-se que entre todos movimentos ocorridos na injeção o maior consumo ocorre na injeção, justamente no momento em que o material polimérico precisa ser transportado sob determinada pressão para as cavidades, que dão a forma final do componente. Quanto aos componentes, de forma mais específica, itens que devem ser obrigatoriamente lembrados são os motores elétricos, que comandam as bombas hidráulicas, os motores elétricos de dosagem, as resistências elétricas, do cilindro de injeção, o sistema hidráulico de alimentação da injetora (água e óleo) e o sistema pneumático de alimentação da injetora. Cada componente ou produto possui características únicas e isso faz com que existam diferentes parâmetros para o processo de injeção⁽³⁾.

Uma das principais variáveis para o controle do processo de injeção é a temperatura porque cada material possui ponto de fusão diferente e, dependendo da geometria da peça, existe a necessidade de temperaturas diferentes para que a injeção seja homogênea. A unidade de temperatura contemplada nas máquinas injetoras é o Grau Celsius e a mesma geralmente é medida e controlada por termopares, que são melhor explorados na seção de instrumentação deste trabalho⁽⁴⁾.

O motor elétrico, gerador de energia mais importante de uma máquina injetora, é responsável por impulsionar a bomba hidráulica, que tem como função o fornecimento de energia para deslocar partes como placas, roscas e para alimentar o sistema de resistências elétricas e de aquecimento da máquina de uma forma geral⁽⁵⁾.

Na maioria dos produtos, que tem sua energia elétrica como principal meio de funcionamento, são conhecidos dados como a potência e tensão. Estes dados são utilizados em combinação com o tempo de utilização do produto, em segundos, para que o total de energia em determinado período de tempo seja conhecido⁽⁶⁾.

Ainda sobre a energia elétrica, existem instrumentos de medição, tanto analógicos como digitais. Os principais instrumentos que medem grandezas elétricas são o voltímetro e o amperímetro que, respectivamente, permitem a verificação de tensão e corrente elétrica, que servem de base para o cálculo da potência e, conseqüentemente, da energia consumida em Watt. Existem também, equipamentos que são customizados por fabricantes, como supervisórios, que demonstram as informações de consumo geradas por equipamentos⁽⁷⁾.

O Arduino faz parte de um novo conceito que foi denominado *Open-Source*, que é a tradução de código aberto e diz respeito ao código-fonte de um software que pode ser conhecido e adaptado para diversos fins⁽⁸⁾.

Um dos pontos que popularizou o Arduino é o seu ambiente de programação, pois para escrever um programa em Arduino é muito simples, sendo necessário apenas que o Arduino seja conectado ao computador por um cabo USB. O ambiente de programação é chamado IDE (*Integrated Development Environment*). A existência de módulos e programas prontos permite que usuários leigos possam procurar na internet e obter códigos de programação para a finalidade que necessitam, pois precisam apenas mudar as variáveis e fazer pequenos ajustes⁽⁹⁾.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia que orienta este trabalho está dividida em sete etapas e a mesma foi elaborada de forma que o trabalho tivesse um desenvolvimento linear e que pudesse ser avaliado constantemente.

1 - Seleção da máquina: a máquina selecionada foi uma injetora ROMI 150 e a mesma foi escolhida por estar em perfeito estado e por ser utilizada periodicamente, já que é um dos principais equipamentos de produção da instituição de ensino para a injeção de peças poliméricas.

2 - Seleção dos pontos a serem medidos: dois pontos foram selecionados para a execução deste trabalho, são eles: motor elétrico e resistência de aquecimento. Esta resistência está identificada no diagrama elétrico como N16. Os locais de medição selecionados são os mais relevantes e impactantes quando se trata de geração de energia elétrica. Definiu-se que a medição deveria ocorrer em somente uma das fases do motor elétrico, pois a variação da corrente elétrica entre as fases foi considerada desprezível, resultando em variação máxima de 1,10% da corrente elétrica entre as três fases.

3 - Seleção dos sensores: o resultado da pesquisa determinou que um sensor de corrente elétrica do tipo não invasivo, modelo SCT013, seria o mais adequado para a medição da corrente elétrica. A decisão de usar um sensor não invasivo ocorreu pela facilidade de se montar o sensor externamente na fiação, sem necessidade de ligar o sensor no circuito, visto que sensores invasivos precisam estar em série no circuito elétrico. Com este sensor é possível realizar a leitura entre 5 e 100 Ampères em temperatura entre -25°C e 70°C, conforme especificações técnicas do fabricante.

4 - Desenvolvimento do software: a atividade de programação de IDE teve início com a pesquisa de diversos códigos de programas prontos sobre leitura de corrente elétrica, comunicação e exportação de informações. O intuito desta pesquisa foi a criação de uma base de conhecimento para que posteriormente fosse criado um

código customizado que atendesse a exigência deste trabalho. O desenvolvimento do software foi realizado na IDE do Arduino combinando os códigos de programação que atendessem as funcionalidades propostas no medidor, no qual o principal desafio foi a calibração dos sensores no software, para que garantisse que as medições fossem confiáveis.

5 - Definição da confiabilidade dos resultados: este trabalho utilizou 10 (dez) amostras e para demonstração das variações dos resultados e entendimento do comportamento da potência ao longo do tempo, foram plotados os resultados em um gráfico, no qual os resultados das medições são comparados à potência nominal do respectivo ponto.

6 - Desenvolvimento do protótipo físico: os itens contemplados no protótipo foram montados em uma caixa plástica, de forma que gere segurança, evitando que os componentes energizados tenham contato com o operador. Existem rasgos e suportes para que os componentes fiquem bem alocados no interior da caixa e, quanto ao lado externo do medidor, tem o cabo de alimentação e o display, que informa em tempo real os valores de corrente elétrica e potência da resistência de aquecimento e motor elétrico.

7 - Validação final: as etapas da validação final foram elaboradas de forma a comprovar que tanto o conceito como o protótipo físico funcionam.

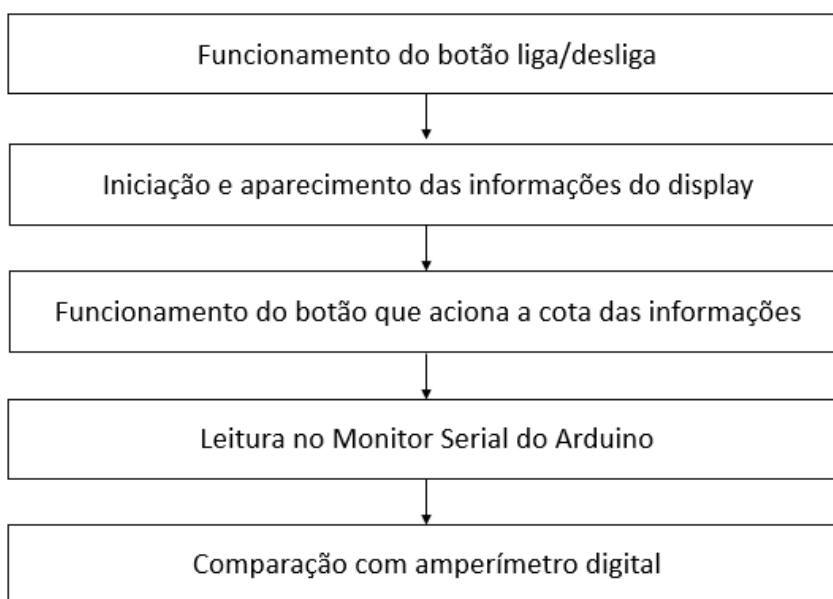


Figura 1. Etapas da validação.

O diagrama da Figura 1 foi elaborado e criado em ordem hierárquica para garantir que o protótipo funcionasse perfeitamente e realizasse as medições conforme proposto neste trabalho.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uma vez que os sensores foram conectados nos pontos de medição, ligou-se a máquina injetora e, logo depois, botão de acionamento, localizado logo abaixo do *display*, que mostrou em tempo real a corrente elétrica e potência elétrica, com

atualização do resultado a cada dois segundos, para que se compreenda de forma mais precisa as variações. O medidor de energia deste trabalho foi alimentado através de cabo USB e ligado em um notebook para o armazenamento de todas as medições enquanto o equipamento estiver ligado. As leituras mostradas no *display* foram, também, carregadas e armazenadas no Monitor Serial. As informações de medições podem ser utilizadas para as mais diversas finalidades de eficiência energética, pois os dados podem ser tratados em qualquer programa que importe dados de texto, como, por exemplo, Excel e Minitab.

O protótipo finalizado é mostrado na Figura 2. Para a instalação dos componentes foi utilizada uma caixa plástica e executadas furações e suportes para fixação dos componentes. Todas as regiões do protótipo foram isoladas corretamente, impossibilitando o acesso às partes energizadas, mesmo sabendo que a tensão do circuito é apenas de 12V.

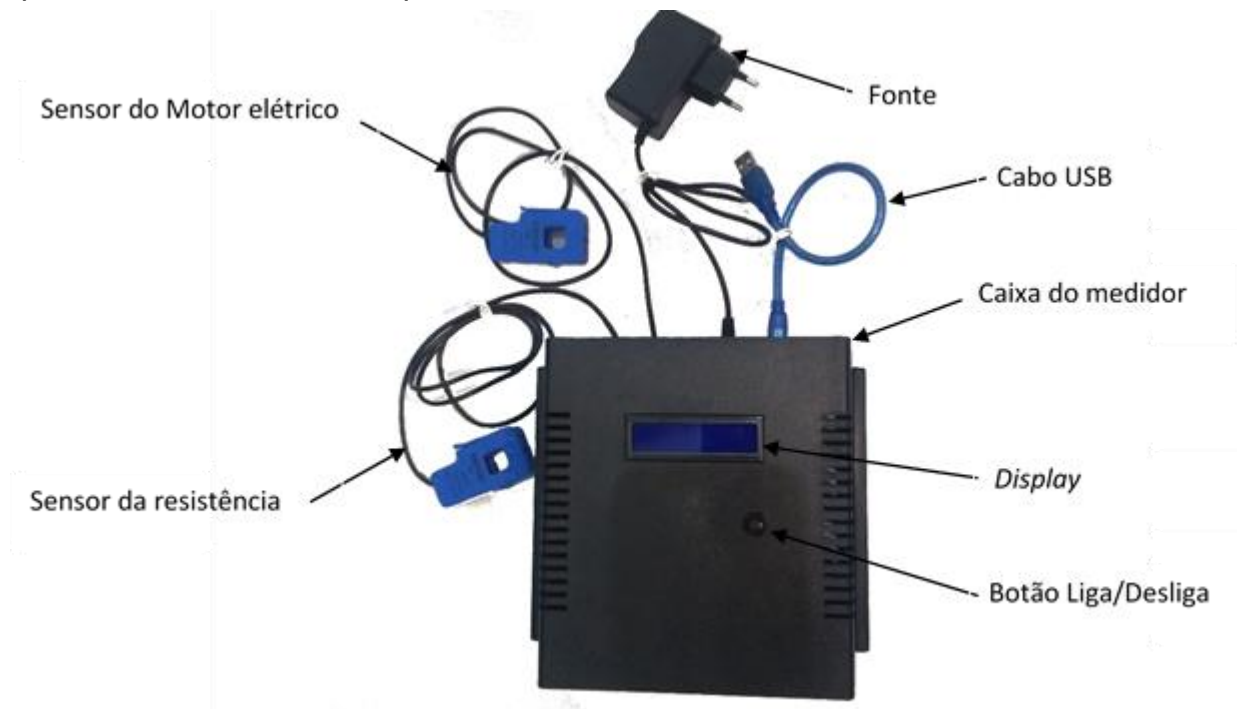


Figura 2. Protótipo físico do medidor finalizado.

O medidor poderia ter sido concebido para ser ligado via USB em um dispositivo energizado, porém, foi contemplado no projeto a inclusão de uma fonte, a qual permite que o medidor mostre os resultados no *display* mesmo não estando conectado a outro dispositivo, tornando-o independente para qualquer aplicação.

Instalou-se, simultaneamente, dois sensores não invasivos nos pontos de medição. Após ligou-se a máquina e o medidor de energia, conseqüentemente, os dados de corrente elétrica e potência elétrica dos pontos de medição foram mostrados no *display* do medidor e também no Monitor Serial do Arduino.

3.1 - Resultado das medições na resistência de aquecimento

Após o cumprimento da metodologia da seção anterior, teve-se o resultado das medições da resistência de aquecimento. Os dados da corrente elétrica com intervalo de dois segundos foram retirados do Monitor Serial e são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Informações das amostras referente à resistência de aquecimento.

Número da amostra	Corrente elétrica (A)	Potência elétrica (W)
01	8,62	1.896,40
02	8,58	1.887,60
03	8,62	1.896,40
04	8,56	1.883,20
05	8,60	1.892,00
06	8,62	1896,40
07	8,61	1894,20
08	8,62	1.896,40
09	8,63	1.898,60
10	8,63	1.898,60
11	8,63	1.898,60
12	8,63	1.898,60
13	8,61	1894,20
14	8,61	1894,20
15	8,58	1.887,60
16	8,58	1.887,60
17	8,58	1.887,60
18	8,61	1.894,20
19	8,61	1.894,20
20	8,64	1.900,80

A utilização dos dados das amostras da Tabela 1 permitiu o cálculo da média das medições e obtenção do desvio padrão (Tabela 2).

Tabela 2. Dados para utilização no gráfico da resistência elétrica.

Média das amostras (W)	Desvio Padrão (W)
1.894,14	4,74

O desvio padrão de valor 4,74W encontrado na Tabela 2, representa um parâmetro inicial para que se conheça a dispersão a partir de uma distribuição normal.

O gráfico da Figura 3 mostra que os resultados obtidos nas medições são constantemente inferiores à corrente nominal da resistência e resultaram em desvio padrão de 4,74W.

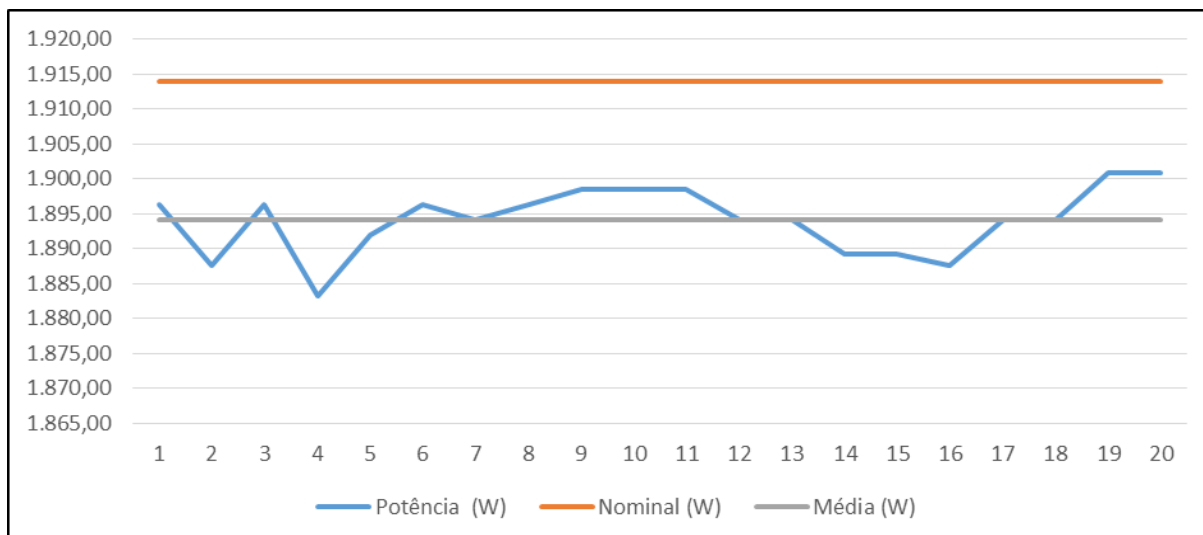


Figura 3. Gráfico da resistência elétrica.

Importante salientar que sempre que a injetora é ligada as resistências têm a temperatura elevada gradualmente até que se atinja a temperatura máxima, sendo que foi neste momento que as medições foram realizadas.

Observa-se que, no gráfico (Figura 3), a média da potência encontrada (1.894,14W) está com perfil constante em comparação à potência elétrica nominal da máquina (1.914,00W). Esta diferença ocorre porque, provavelmente, o projeto elétrico da injetora foi realizado para plena carga. Portanto, é normal a potência de um projeto ser maior que a potência em regime de operação nominal.

Outra constatação sobre variação da potência, que é inerente a qualquer processo, é que deve existir oscilações na rede elétrica, gerando alternância no valor da potência elétrica. Da mesa forma, é de extrema relevância para o entendimento da variação dos resultados, mesmo que em conformidade, é que esta máquina e outras do fabricante ROMI utilizam o método PID (proporcional, integral e derivativo) para o controle de variáveis.

Uma das características de um controlador PID é que se pode controlar a temperatura com precisão de 0,6% em relação ao valor programado, independentemente se está sendo controlado um processo de aquecimento ou resfriamento. Portanto, no momento em que a medição foi realizada e estabilizada no máximo, a variação potência foi mínima ao longo do tempo porque as resistência não desligam, somente oscilam conforme a programação.

Rossato⁽¹⁰⁾ afirma que a utilização simultânea dos três métodos de controles: proporcional, integral e derivativo, mostrados na Figura 4, geram uma melhor estabilização da variável a ser medida e, dessa forma, garante maior exatidão.

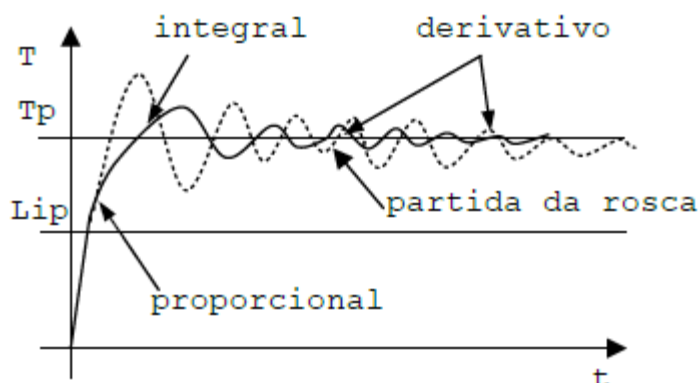


Figura 4. Gráfico da temperatura (T) e tempo do controle (t).

A linha tracejada (Figura 4) corresponde ao método puramente proporcional, que atua com o sinal de entrada variando entre um valor de referência e o valor desejado, sempre oscilando entre o totalmente ligado e desligado. A linha de resultado do método PID vai ao encontro dos resultados desta parte do trabalho e permitem concluir em que independente do momento da medição na resistência os dados são confiáveis.

3.2 - Resultado das medições no motor elétrico

A Tabela 3 apresenta os resultados da medição de corrente elétrica do motor elétrico e, também, são apresentados os resultados da potência em cada momento da medição. Potência esta que foi calculada utilizando tensão de 380V.

Sobre os resultados da corrente elétrica obtidos pelo sensor em condições da injetora operando em vazio, foram mensurados dados conforme Tabela 2.

Tabela 3. Informações das amostras referentes ao motor elétrico.

Número da amostra	Corrente elétrica (A)	Potência elétrica (W)
01	45,57	17.316,60
02	45,60	17.328,00
03	45,60	17.328,00
04	45,57	17.316,60
05	45,60	17.328,00
06	45,42	17.259,60
07	45,60	17.328,00
08	45,39	17.248,20
09	45,63	17.339,40
10	45,60	17.328,00
11	45,63	17.339,40
12	45,60	17.328,00
13	45,60	17.328,00
14	45,39	17.248,20
15	45,57	17.316,60
16	45,39	17.248,20
17	45,57	17.316,60
18	45,39	17.248,20
19	45,60	17.328,00
20	45,60	17.328,00

O motor elétrico, componente de maior consumo elétrico, mostrou resultados confiáveis, assim como o estudo da resistência, e os mesmos foram utilizados para o cálculo das informações mostradas na Tabela 4.

Tabela 4. Informações das amostras referentes ao motor elétrico.

Média das amostras (W)	Desvio Padrão (W)
17.302,35	35,64

Os dados para geração do gráfico (Tabela 4) foram essenciais para visualização dos resultados e, ainda mais, para entender o comportamento da potência elétrica.

O gráfico da Figura 5 sinaliza que a média da potência elétrica foi maior que a corrente elétrica nominal da injetora. Além disso, nota-se que existe pequena variação quando comparada à medição de cada amostra, que corresponde a um desvio padrão de 35,64W.

Nota-se que a potência elétrica do motor elétrico está acima da nominal e, comumente, motores elétricos que utilizam componentes mecânicos (engrenagens, polias e outros) estão propensos ao desgaste ao longo do tempo e consomem mais energia. Como solução, existem motores de alta performance que realizam o mesmo trabalho com um consumo energético menor. Até mesmo a substituição por um novo motor elétrico de características idênticas certamente reduziria a potência encontrada.

Ainda, em que pese a confiabilidade dos resultados deste trabalho, o autor, no intuito de corroborar a validação deste por outro método, utilizou o amperímetro digital da marca Fluke, modelo 302+. O valor obtido para a corrente elétrica da resistência correspondeu a 8,70A e a corrente elétrica do motor elétrico a 44,60A.

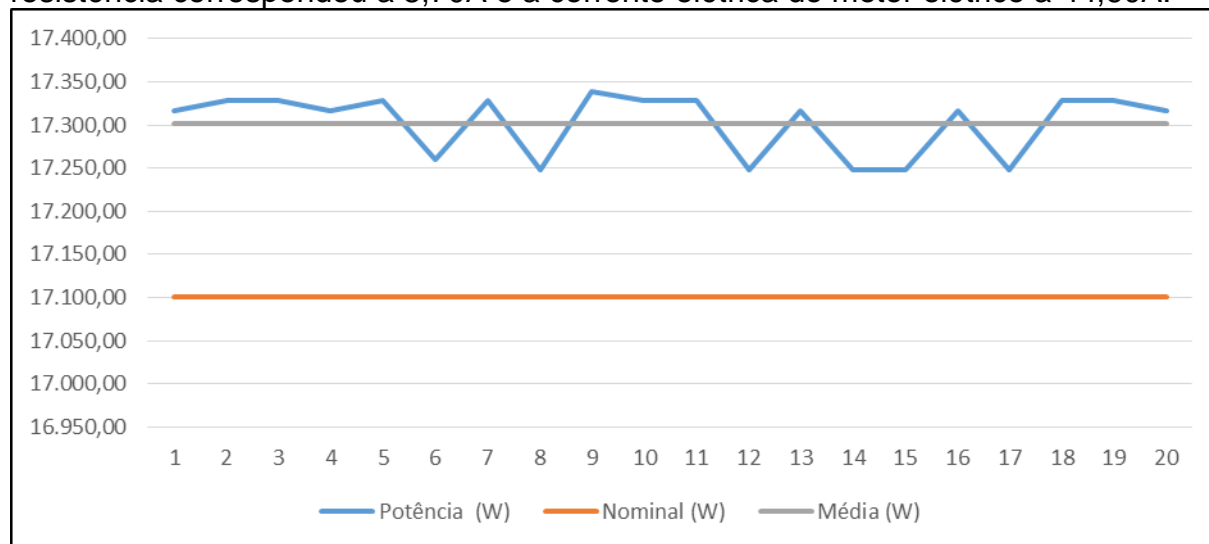


Figura 5. Gráfico do motor elétrico.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sistemas de gerenciamento de consumo energético normalmente possuem um custo de implantação considerável e este trabalho conseguiu um custo/ benefício muito interessante para que uma empresa possa ter ciência do consumo energético de uma ou mais injetoras. Sabe-se que todos componentes, como motor elétrico e

resistências de aquecimento perdem performance ao longo do tempo e isso pode acarretar em falhas ou perda de eficiência no processo. Agora, utilizando sensores não invasivos, que sem dúvida estão entre as melhores soluções para acesso à quadros elétricos ou regiões eletrificadas, pode-se rapidamente acoplar o sensor de forma bastante simples e em instantes se obter relatório, criando um histórico para análise.

A confiabilidade encontrada nos resultados, motiva o autor do trabalho a considerá-lo um ponto de partida de projeto de IoT (*Internet of things*), que é um avanço tecnológico utilizado para atender os preceitos da Indústria 4.0, reduzindo o tempo de resposta para manutenções e paradas de máquina para substituição de componentes. Outro exemplo real e aplicável que este trabalho pode contribuir é na tomada de decisão da troca do motor elétrico da injetora, sabendo-se que ao longo do tempo perde-se performance, e, baseado no consumo pode-se estudar a colocação de um novo motor de alta eficiência e que gere menor consumo energético.

A impressão dos resultados em tempo real no display permitiu uma maior flexibilidade no uso do medidor, que mesmo não estando conectado a nenhum outro dispositivo mostrou os resultados. Sabendo-se, ainda, que para estudos mais detalhados e para que um determinado número de informações sejam analisadas, é necessário ter o medidor de energia conectado à outro dispositivo para que os dados sejam coletados e exportados.

Por fim, a proximidade dos resultados das amostras e a comparação dos resultados de forma manual com um amperímetro, comprovaram que os resultados obtidos pelos sensores e Arduino são confiáveis.

REFERÊNCIAS

- 1 PERUZINNI, M.; GERMANI, M.; MARILUNGO, E. A Sustainability Lifecycle Assessment of Products and Services for the Extended Enterprise Evolution, p. 3-12, 2003.
- 2 BRASIL. Lei n.9.478, de 6 de agosto de 1997. Dispõe sobre a Política Energética Nacional; e dá outras providências. Presidência da República. Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos, Brasília, DF. 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9478.htm >. Acesso em: 04 ago. 2017.
- 3 BRITO, A. M. Et al. Manual do projetista para moldes de injeção de plásticos. v7, Centimfe, 2004.
- 4 MICHALSKI, L. et al. Temperatura Measurement. London: John Wiley & Sons Ltd, 1991.
- 5 BÉLANGER, R. et al. Évaluation des risques associés à l' utilisation des presses à métal dans l' industrie québécoise. Montreal: Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec, 1994.
- 6 MILLAR, D. et al. The Cambridge Dictionary of Scientists. Cambridge : Cambridge University Press, 1996.
- 7 SOUZA et al. Algoritmos para estimar curvas de cargas a partir de padrões de hábito de consumo. Dincon'10,. 2010. p.776.

- 8 EMBARCADOS; Campinas, SP. 2017. [Online]. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/open-source>>. Acesso em: 12 ago. 2017.
- 9 RENNA, R. B. et al. Introdução ao kit de desenvolvimento Arduino. Rio de Janeiro, RJ: Escola de Engenharia, 2013.
- 10 ROSATO & ROSATO, Injection Molding Handbook.

FABRICAÇÃO DE MODELOS DE FUNDIÇÃO EM IMPRESSÃO 3D.

- ¹ Graduando, Nascimento, T.S (Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul-Campus Caxias do Sul) tulio.nascimento@caxias.ifrs.edu.br.
- ² Graduando, Ferranti, Gabriel (Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul- Campus Caxias do Sul) gabriel.ferranti@caxias.ifrs.edu.br.
- ³ Professor Eng. Pasini, W.M (Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul-Campus Caxias do Sul) willian.pasini@caxias.ifrs.edu.br.
- ⁴ Professor M.e Eng Haag, J (Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul- Campus Caxias do Sul) jefferson.haag@caxias.ifrs.edu.br.
- ⁵ Professor Dr.Eng. Lessa, C.R.L (Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul- Campus Caxias do Sul) cleber.lessa@caxias.ifrs.edu.br.

Resumo

O presente trabalho tem por objetivo comparar e analisar a característica de rugosidade em modelo impresso em 3D e modelo similar fabricado em madeira de acordo com normas ABNT-NBR e ISO-8062 e os resultados obtidos na superfície de peças fundidas em alumínio quando produzidos em processo de moldagem de areia verde. Para tanto foram fabricados modelo de cunha em degraus conforme indicado por R. Wlodawer em madeira e impressão 3D. Posteriormente foram feitas medições das rugosidades nas faces horizontais dos dois modelos. Após foram fabricados moldes em areia verde utilizando os dois modelos e fundidos em alumínio. Com as peças fundidas foram feitas novas medidas nas faces horizontais dos degraus. Os valores encontrados foram comparados com as tabelas 7, coluna RMAGF. Os resultados indicam que apesar da rugosidade do modelo em impressão 3D ser superior ao modelo de madeira, não interfere no resultado final encontrado nas peças fundidas em areia verde.

Palavras-chave: Impressão 3D, modelo, rugosidade, fundição.

MANUFACTURE OF CASTING PATTERN IN 3D PRINTING.

Abstract

The aim of the presente work is to compare and analyze the roughness characterisitc in a 3d printed model and similar model manufactured in wood according to ABNT-NBR and ISO-8062.3 Standard and results obtained on the surfasse of cast aluminun parts when produced in process o sand molding For that, wedge-shaped model was fabricated as indicated by R.Wlodawer in wood and 3d printing. Subsequently measurements were made of the roughnesses on the horizontal faces of the two models and cast in aluminum. With the casting new measurements were made on the horizontal faces of the steps. The values found were compared to tabels 7, RMAGF column of the ISO8062. The results indicate that although the roughness of the model in 3D pinting is superior to the modelo f wood, it does not interfere in the final result found in the casting green sand.

Key words: 3D printing,model,roughness, casting.

1. INTRODUÇÃO

Setti, Dalmarino⁽¹⁾ afirma que o processo de fundição de metais e suas ligas ocorre quando do vazamento deste material no estado líquido em uma cavidade previamente fabricada, que tenha a forma geométrica pretendida. Após a solidificação este material deverá ser retirado desta cavidade para processos posteriores de fabricação. A cavidade poderá ser construída de diversos materiais conforme processos de moldagem, fusão, disponibilidade de materiais, requisitos de engenharia, custos de fabricação, etc. A diferença entre um processo e outro é, portanto o material de que consiste o molde, se este molde é permanente ou descartável e/ou reciclável. A seleção do processo mais adequado pode ser executada com suporte de software como, por exemplo, método de seleção multicriterial de seleção de processos de fundição de metais.

Siegel, Miguel⁽²⁾, afirma que; A fabricação de modelos de fundição procura, obter a partir dos mesmos a reprodução de peças fundidas que sejam a ideia expressa de um projeto. O projeto de uma peça deve ser feito tendo em vista a reprodução em metal fundido a partir de um “negativo” (molde) do modelo. O projeto deve garantir as melhores condições de moldabilidade, enchimento da cavidade sem fluxos turbulentos, acúmulos de gás e inclusões. Deve ser considerada contração da liga metálica, fluidez do material, resistência a quente, tendência à oxidação, geometria e deformação.

As normas ABNT-NBR 12797,12798 e 12799 (1993) tratam das características e propriedades de um ferramental de fundição em função do seu material e modo de fabricação. As ABNT 6645 (1986) para aços fundidos ou 6927(1986) para ferros fundidos cinzentos e nodulares. A norma ISO 8062-3(2007) atende ligas ferrosas e não ferrosas indicando tolerâncias dimensionais e geométricas de peças moldadas para processos em areias, *shell molding*, moldes metálicos permanentes, *pressure die casting* e *investment casting*.

Ferro, Beatriz et al ⁽³⁾ afirma que objetivo da prototipagem é a construção de modelos protótipos que sejam cópias fieis das peças projetadas. Podem ser usadas em condição final ou se necessário como modelos padrão para fundição de modelos definitivos. Os vários processos de fabricação de protótipos em peças nos mais diversos materiais como plásticos, metais, madeira e outros, são fundamentais para o processo da fundição.

Silveira e Lessa ⁽⁴⁾ afirmam que na impressão 3D no processo de adição por filamento são utilizados fios ou filamentos em ABS ou PLA. Os parâmetros de processo devem estar corretamente estabelecidos para que a impressão aconteça de maneira correta, observando; temperatura ambiente, temperatura de aquecimento da mesa de impressão, temperatura do bico ejetor e velocidade de

impressão. O tempo de impressão varia para cada modelo. Em média, a velocidade de deposição de material é de aproximadamente 4g/10min, considerando a densidade do ABS como sendo 1,03g/cm³, porém é possível determinar o preenchimento da peça (podendo até mesmo fazer um modelo oco), diminuindo consideravelmente o consumo do material e o tempo.

Meet Upadhyay, Tharmaligam Sivatan, Mohamed El Mansori ⁽⁵⁾, comparam os resultados entre processos convencionais com resinas e impressão 3D em areia para fundição de ligas ferrosas e não ferrosas.

Dean Snelling, et al ⁽⁶⁾, comparam as características entre elas a rugosidade superficial de fundidos produzidos por impressão 3D em areia com fundidos produzidos em processos convencionais

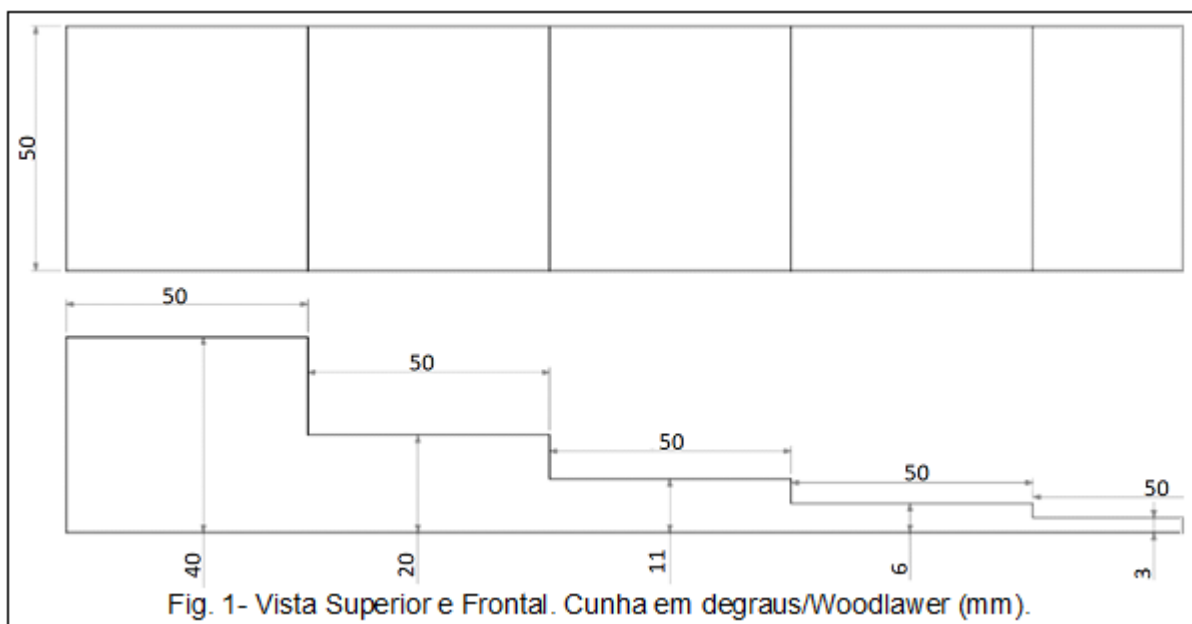
O presente trabalho tem por objetivo analisar as variações da característica de rugosidade da superfície de um modelo fabricado pelo processo de impressão e compará-lo com modelo similar fabricado em madeira de acordo com normas ABNT e ISO8062.

A fabricação dos modelos protótipos em impressão 3D foram produzidos a partir de modelamento 3D (software SolidWorks -2016), os arquivos stl gerados foram utilizados em impressora 3D UPPLUS2 da UP3D® nos laboratórios do IFRS-Caxias do Sul. O modelo de madeira foi fabricado em fornecedor externo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foi desenvolvido um ferramental de madeira de acordo com normas ABNT-NBR 12797, 12798 e 12799 de corpo de prova similar à cunha escalonada de Woodlaver. Em paralelo o arquivo eletrônico do modelo 3D criado em software SOLIDWORKS foi convertido do formato **sldprt* para **stl* e enviado para impressora 3D UPPLUS2 da UP3D®(I3D). Os parâmetros utilizados foram os normalmente utilizados para impressão de modelos protótipos exceto o acabamento que foi alterado de normal para fino. Foi utilizado filamento ABS. As superfícies planas horizontais dos modelos em madeira e impressão foram medidas com rugosímetro marca DIGIMESS 1720, na característica Ra. Após esta etapa foram produzidos moldes em areia verde para produção de corpos de prova em alumínio fundido na temperatura 710 °C, em forno resistivo de marca FORTELAB.

Os corpos de prova após limpeza e retirada de rebarbas de apartação tiveram as superfícies planas horizontais medidas com rugosímetro. Os resultados obtidos nos modelos e corpos de prova foram confrontados com os valores indicados pela norma ISO8062.

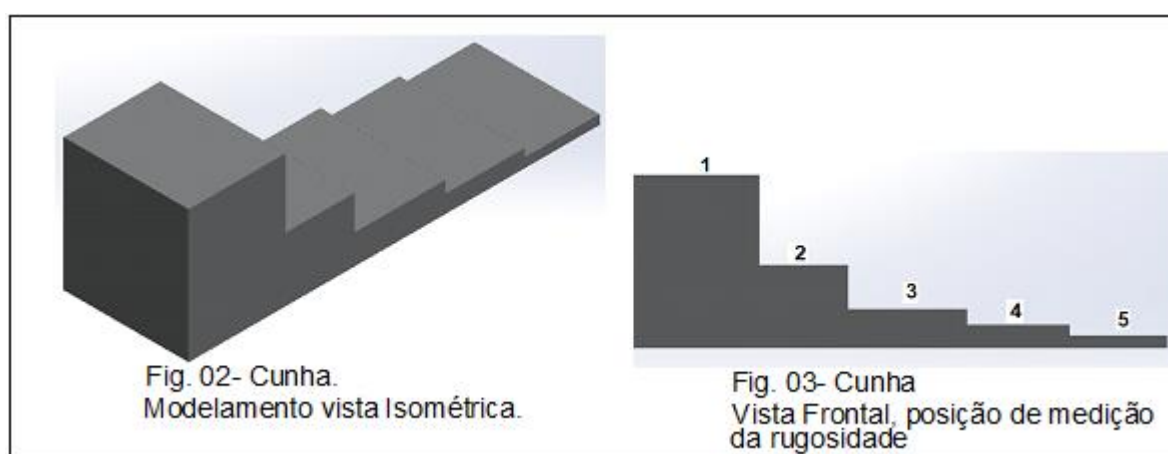


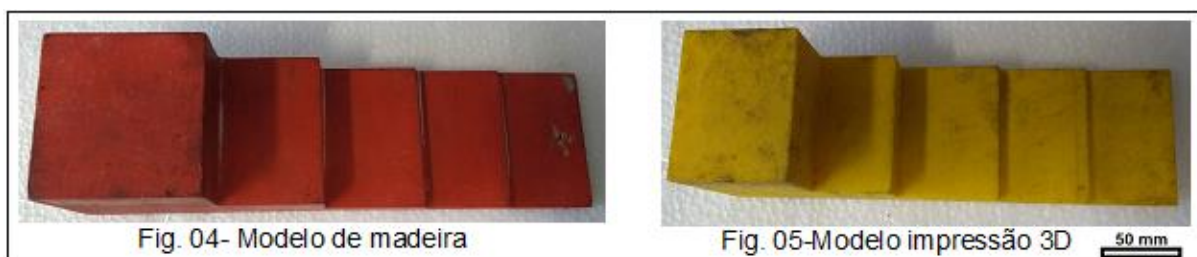
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A medição da rugosidade das superfícies planas horizontais buscou identificar variações que pudessem ser transmitidas ao produto final de metal e avaliar estas variações de acordo com norma vigente. A medição dos modelos de madeira e de impressão 3D obteve os resultados de acordo com tabela 01:

Superfície	Modelo (Ra)		Fundido (Ra)		Norma
	Madeira	I3D	Madeira	I3D	
01	2,95	4,897	****	****	0,50 mm
02	2,253	5,195	****	****	0,50 mm
03	1,35	4,822	****	****	0,50 mm
04	1,217	2,211	****	****	0,50 mm
05	3,35	3,973	****	****	0,50 mm

Tabela 01- Medições com rugosímetro





O resultado da medição com rugosímetro em μm indica uma menor rugosidade da superfície em madeira em relação à superfície gerada pela I3D. Os resultados apurados nas peças amostra em alumínio ficaram acima da faixa máxima do aparelho.

<u>Cut off</u>	<u>Ra</u>	<u>Rz</u>
0.25 mm 0.01 inch	0.02 ~ 0.1 μm 0.8 ~ 4 μ inch	0.1 ~ 0.5 μm 4 ~ 20 μ inch
0.80 mm 0.03 inch	0.1 ~ 2.0 μm 4 ~ 80 μ inch	0.5 ~ 10 μm 20 ~ 400 μ inch
2.50 mm 0.10 inch	2.0 ~ 10 μm 80 ~ 400 μ inch	10 ~ 50 μm 400 ~ 2000 μ inch

Tabela 02 – Faixa de medição do equipamento. (Manual do fabricante)



As amostras em alumínio apresentaram rugosidade acima do valor máximo do equipamento.

4. CONCLUSÃO

A avaliação da rugosidade entre os modelos de madeira e impressão 3D indicou que a superfície em impressão 3D com parâmetro de acabamento fino ativado é mais rugosa que a superfície de madeira. Os valores registrados são inferiores a faixa indicada na norma ISO8062.3. Por este critério a superfície estaria aprovada para fabricação de protótipos ou peças em alumínio. O resultado nas amostras fundidas indica que a “superfície” dos modelos não foi transmitida ao metal. É provável que areia de faceamento com módulo de finura mais elevado poderá reproduzir mais fielmente esta característica.

Trabalhos Futuros

Investigar a correlação entre superfície do modelo com diversos tipos de areias de moldagem nos processos de moldagem convencional.

Investigar o tempo de vida útil de modelo I3D em condições de moldagem similares a de produção de acordo com norma ABNT.

Investigar compatibilidade do modelo I3D com as diversas resinas fenólicas uretânicas, furânicas, cura ester e silicato CO₂.

Agradecimentos

O autor agradece aos professores e técnicos do IFRS-Campus Caxias do Sul, programa de extensão IFRS-Caxias conforme edital 18/2018.

REFERÊNCIAS

- 1 Setti, Dalmarino. (2010). Método Multicriterial para processos de seleção de metais. Porto Alegre, Brasil.
- 2 Siegel, Miguel. (1978). Fundação. São Paulo, Brasil: ABM- Associação Brasileira de Fundação.
- 3 Ferro, Beatriz, Machado Cesar, Tavares José, Lopes Patrícia, Cassia Rita(2015) FEUP-Faculdade, Engenharia Universidade do Porto.
- 4 Silveira, Rafael, Lessa, Cleber.(2015)Escaneamento e Prototipagem 3D de baixo custo. XXVII Salão de Iniciação Científica da UFRGS, 10/2015. Caxias do Sul: IFRS-Caxias do Sul.
- 5 Meet Upadhyay,Tharmaligam Sivatan, Mohamed El Mansori ,Journal of Manufacturing Processes 29 (2017)211-220.
- 6 Dean Snelling¹ , Heather Blount² , Charles Forman² , Kelly Ramsburg² , Andrew Wentzel² , Christopher Williams¹ , Alan Druschitz²(2017) The Effects of 3D printed molds on metal casting. 1 Design, Research, and Education for Additive Manufacturing Systems Laboratory; Department of Mechanical Engineering 2 Department of Material Science Virginia Tech, Blacksburg, VA.

ELABORAÇÃO DE UM PLANO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS PARA UNIDADES DE ALIMENTAÇÃO E NUTRIÇÃO.

Pereira, D. C. K.¹

Campani, D. B.²

de Souza, J. P.³

¹ *Graduanda em Engenharia de Alimentos, Diuliana Catlen Kuspik Pereira, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, diukuspik@gmail.com*

² *Docente do Departamento de Engenharia Mecânica, Darci Barnech Campani, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, campani@ufrgs.br*

³ *Docente do Departamento de Tecnologia de Alimentos, Júpiter Palagi de Souza, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, jps@ufrgs.br*

Resumo

Dentro de uma Unidade de Alimentação e Nutrição (UAN) as refeições fornecidas devem ser equilibradas, tanto do ponto de vista nutricional, quanto no aspecto higienicossanitário. A produção de resíduos sólidos está presente em toda a cadeia de produção da refeição até o pós-consumo, implicando em impactos diretos ao meio ambiente. Para controlar a geração destes resíduos com objetivo de preservar o meio ambiente, este trabalho visa desenvolver um Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) para UAN, aplicável, dentro da Universidade, a Restaurantes Universitários. Esta pesquisa se caracteriza como uma pesquisa-ação, que implica na realização de um estudo junto a grupos sociais e a própria metodologia é gerada junto com a pesquisa. O PGRS conta com um fluxograma de estruturação distribuído em 1) Entrevista e observação visual da Gestão de Resíduos no local; 2) Segregação e pesagens dos resíduos para análise quantitativa e qualitativa; 3) Avaliação do acondicionamento e destino final dos Resíduos; 4) Planos de Ação para melhorias; 5) Educação Ambiental; 6) Monitoramento. A proposta da Ferramenta atende os quesitos Legais específicos que implicam em sistemas diferenciados de coleta, tratamento e disposição final dos Resíduos Sólidos. A construção de um Plano implica na organização de dados e atividades para armazenamento de informações e possíveis monitoramentos de melhoria contínua, a fim de se manter uma Gestão Ambiental no local avaliado.

Palavras-chave: Gestão de Resíduos, Unidades de Alimentação e Nutrição, Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, Restaurantes Universitários, Gestão Ambiental.

ELABORATION OF A SOLID WASTE MANAGEMENT PLAN FOR FOOD AND NUTRITION UNITS.

Abstract

At the Food and Nutrition Unit (UAN), the meals must be provided and balanced, from a nutritional and hygienic point of view. The resulting solid waste production is present since the meal to post-consumption during all production chain, implying direct impacts on the environment. In order to control the generation of these residues to preserve the environment, this work aims to develop a Solid Waste Management Plan (PGRS) for UAN, applicable, inside the University, to University Restaurants. This research is an action-research, which implies the accomplishment of study with social groups. The methodology is generated together with the research. The PGRS has a structured flowchart distributed in 1) Interview and visual observation of the Waste Management in place; 2) Segregation and weighing of waste for quantitative and qualitative analysis; 3) Evaluation of packaging and final destination of waste; 4) Action Plans for improvements; 5) Environmental Education; 6) Monitoring. The proposal of this Tool is in accord with the specific legal requirements that involve different systems of collection, treatment and final disposal of Solid Waste. The construction of a Plan implies the continue organization of data and activities for information storage and possible monitoring of continuous improvement, in order to maintain the local Environmental Management in evaluated.

Key words: Waste Management, Food and Nutrition Units, Solid Waste Management Plan, University Restaurants, Environmental Management

1 INTRODUÇÃO

O fornecimento de refeições para coletividades pode ser feito por bares, lanchonetes, cantinas e restaurantes. Essa produção de refeições para o consumo envolve uma série de etapas que compreendem desde a seleção e acondicionamento das matérias-primas até a preparação do produto acabado⁽¹⁾.

Uma Unidade de Alimentação e Nutrição (UAN) deve ser considerada como uma unidade de trabalho ou órgão que desempenha funções relacionadas à alimentação e à nutrição⁽²⁾. As refeições fornecidas nessas unidades devem ser equilibradas tanto do ponto de vista nutricional quanto no aspecto higienicossanitário⁽³⁾.

Segundo Kinasz & Werle⁽⁴⁾, no Brasil, além do aumento de bens de consumo observa-se também o aumento de serviços, como a oferta dos serviços de alimentação e nutrição que, para alcançarem seus objetivos, geram resíduos sólidos com variável composição física, contribuindo com o problema.

As UAN são responsáveis por geração de grande quantidade de resíduos e também do consumo de água e energia e por esse motivo ter o controle desde a concepção do projeto, no planejamento e nas etapas de processos operacionais⁽¹⁾. Sendo assim, este trabalho tem como objetivo elaborar um Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos para UANs.

1.1. Gestão Ambiental

Ao se considerar a finalidade de um restaurante, seja ele comercial ou institucional, com ou sem fins lucrativos tem-se as atividades que causarão impactos ambientais⁽⁵⁾.

Sendo impacto ambiental, definido pela NBR ISO 14.001, como qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica que resulte, no todo ou em parte, dos aspectos ambientais - elemento de atividades, produtos ou serviços que pode interagir com o meio ambiente - da organização⁽⁶⁾.

Para Almeida & Selitto⁽⁷⁾, um Sistema de Gestão Ambiental formaliza procedimentos operacionais e incentiva a melhoria contínua, possibilitando a redução de resíduos e do consumo de recursos naturais. Desta forma, segundo Shigunov Neto et al.⁽⁸⁾, é impossível desvincular a Gestão Ambiental da ciência administrativa, da gestão da qualidade e das organizações.

Segundo Alshuwaikhat & Abubakar⁽⁹⁾, as universidades são chamadas para reduzir o seu impacto ambiental causado por atividades diretas e indiretas e também realizar pesquisas na área da sustentabilidade, repassando e compartilhando essa experiência com a sociedade.

1.2. *Resíduos Sólidos*

Resíduos são materiais indesejáveis em estado sólido, semi-sólido, líquido ou gasoso, resultante das atividades humanas, descartados já que não apresentam nenhuma serventia para o gerador⁽¹⁰⁾.

Na fase de preparo dos alimentos ocorre o rejeito de folhas, cascas e/ou outras partes não aproveitadas do alimento⁽¹¹⁾. Há ainda a geração de resíduos procedente das embalagens descartáveis oriundas dos produtos industrializados que são utilizadas nas UAN: papéis, papelões, plásticos, vidros, latas, embalagens cartonadas (tetrapack) que acondicionam vários tipos de alimentos ou produtos químicos⁽¹²⁾.

Qualquer tipo de geração de resíduos depende de condições culturais, econômicas e hábitos, dentre outros fatores e atinge diretamente o meio ambiente e sua relação com os meios físicos, biológicos e antrópicos⁽¹³⁾.

1.3. *Destino Resíduos Sólidos*

A gestão e a disposição inadequada dos resíduos sólidos causam impactos socioambientais, tais como degradação do solo, comprometimento dos corpos d'água e mananciais, intensificação de enchentes, contribuição para a poluição do ar e proliferação de vetores

de importância sanitária nos centros urbanos e catação em condições insalubres nas ruas e nas áreas de disposição final⁽¹⁴⁾.

Segundo pesquisa ABRELPE⁽¹⁶⁾, a geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no Brasil apresentou uma queda de 2% de 2015 para 2016 onde obteve o total de 214.405 t/dia, sendo 1,040 kg/hab/dia. A disposição final de RSU, no Brasil, demonstrou que 58,4% dos resíduos foram encaminhados para aterros sanitários, 24,2% para aterros controlados e 17,4% para lixões, que não possuem o conjunto de sistemas e medidas necessárias para a devida proteção contra danos e degradações do meio ambiente.

1.4. *Gerenciamento de resíduos sólidos*

O gerenciamento de resíduos sólidos deve contribuir para a redução da geração de resíduos sólidos, orientando o correto acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte, tratamento e disposição final ambientalmente correta⁽¹⁶⁾.

A operação de coleta e transporte de resíduo depende da forma de seu acondicionamento, armazenamento e disposição dos recipientes no local estabelecido pelo órgão de limpeza, onde o acondicionamento adequado evita a proliferação de agentes patogênicos, reduz a heterogeneidade dos resíduos, melhora o impacto visual e olfativo e facilita a realização da coleta⁽¹⁰⁾.

Para Silva et al.⁽¹⁷⁾, o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) visa primeiramente contextualizar e ter conhecimento do local de aplicação. Assim como estabelecer possíveis problemáticas e melhorias a serem propostas.

Para que os programas de minimização de resíduos sejam efetivos é necessário que exista comprometimento da alta direção do empreendimento; a definição de uma política institucional e definição de estratégias para a sua implementação; provisão suficiente de recursos; um programa de treinamento e motivação de pessoal; e estímulo às iniciativas que visam implantar projetos de minimização da geração de resíduos⁽¹⁸⁾.

1.5. *Aspectos Legais para o Gerenciamento de resíduos sólidos*

A gestão dos vários tipos de resíduos tem responsabilidades definidas em legislações específicas e implica sistemas diferenciados de coleta, tratamento e disposição final⁽¹⁹⁾.

Desta forma, no artigo 21 da Lei 12.305/10⁽¹⁶⁾, estão dispostos os conteúdos mínimos que devem estar no PGRS, sendo eles:

- I. Descrição do empreendimento;
- II. Diagnóstico com caracterização e quantitativos, incluindo passivos ambientais a eles relacionados;
- III. Observações das normas nacionais, estaduais e municipais;
- IV. Definição dos procedimentos;
- V. Explicitação dos responsáveis pelas etapas;

- VI. Procedimentos operacionais;
- VII. Identificação de soluções consorciadas ou compartilhadas;
- VIII. Ações preventivas e corretivas;
- IX. Metas e procedimentos relacionados à minimização de resíduos, reutilização e reciclagem;
- X. Medidas saneadoras dos passivos; e
- XI. Periodicidade da sua revisão.

Além disso, a Resolução RDC nº 216/04⁽²⁰⁾ dispõe sobre o Regulamento Técnico de Boas Práticas para Serviços de Alimentação e elenca os itens que devem ser observados sobre o Manejo de Resíduos:

- I. O estabelecimento deve dispor de recipientes identificados e íntegros, de fácil higienização e transporte, em número e capacidade suficientes para conter os resíduos;
- II. Os coletores utilizados para deposição dos resíduos nas áreas de preparação e armazenamento de alimentos devem ser dotados de tampas acionadas sem contato manual; e
- III. Os resíduos devem ser frequentemente coletados e estocados em local fechado e isolado da área de preparação e armazenamento dos alimentos, de forma a evitar a contaminação e atração de vetores e pragas urbanas.

1.6. Avaliação de Aspectos e Impactos Ambientais em uma UAN

O instrumento para levantamento de aspectos e impactos ambientais na produção de refeições, desenvolvido por Strasburg⁽²¹⁾, é baseado em um *check list* distribuído em seis grupos que estão organizados em até três categorias: identificação; processo simples (escolha de opção); e processo múltiplo (onde um item analisado poderia ter mais de uma opção de resposta). Neste caso destacamos a avaliação do grupo Gestão de resíduos que conta com quinze perguntas teóricas para avaliação do local.

Na categoria identificação são dispostas perguntas onde a resposta é sim ou não sendo “sim” classificado como um aspecto adequado e “não” como inadequado. Os questionamentos são:

- Local apresenta proposta de separação para os diferentes tipos de resíduos;
- Local mantém coletores de resíduos em cores diferenciadas (recipiente ou sacos de coleta);
- Os coletores de resíduos são acionados sem contato manual;
- Os resíduos coletados são armazenados para posterior recolhimento em local separado ou em recipientes adequadamente fechados, separados da área de produção e distribuição das refeições;
- Local realiza o controle de pragas urbanas com empresa credenciada e mantém os respectivos registros;
- Local faz o registro do número de refeições para a programação de produção;
- Local faz o registro de sobra das cubas, preparações e resto ingesta; e
- Local disponibiliza informações ou faz campanha de consumo consciente.

Dentro da categoria de processo simples, questiona-se sobre a retirada dos resíduos, onde o aspecto adequado é quando realizada por diversas maneiras, específicos para cada tipo de resíduo e inadequado quando realizada somente pelo serviço único de coleta municipal;

Sobre a separação e destino, os resíduos alimentares das etapas de pré-preparo, preparo e distribuição (sobras de cubas) são classificados como adequados quando destinados para compostagem e/ou suinocultura e inadequados quando destinados para aterros sanitários. Os resíduos alimentares da distribuição (resto ingestão dos usuários) são classificados como adequados quando destinados para aterro sanitário e inadequados quando destinados para compostagem e/ou suinocultura.

As embalagens recicláveis de alimentos sem resíduos alimentares, sendo papel, papelão, plástico, lata e vidro são considerados adequados quando destinados para coleta seletiva e inadequados quando destinados para outros fins ou para aterro sanitário. Os resíduos de óleo de fritura são considerados adequados quando destinados para empresa ou serviço especializado em elaborar novos produtos a partir desses resíduos. As embalagens de produtos químicos (higiene e limpeza) são considerados adequados quando destinados ao fabricante e/ou coleta seletiva e inadequados quando destinados para aterro sanitário. E, por fim, os copos descartáveis são considerados adequados quando destinados ao aterro sanitário e inadequados quando destinados para coleta seletiva.

Segundo Strasburg⁽²¹⁾, a proposta de aplicação do *check list* permitirá identificar as particularidades e a realidade de funcionamento de estabelecimentos produtores de refeições para coletividades.

1.7. Educação Ambiental

A Educação é definida por Moran⁽²²⁾, como a soma de todos os processos de transmissão do conhecido, seja através de condições culturalmente adquiridas e de aprendizagem de novas ideias, procedimentos, soluções, realizados por pessoas, grupos, instituições, organizada ou espontaneamente, formal ou informalmente.

A espécie humana, desde a sua origem, buscou formas de influir no meio ambiente e de transformá-lo no sentido de atender às suas necessidades, mesmo que em certas ocasiões essa transformação tenha se mostrado desfavorável⁽²³⁾. Assim, para Sauv e⁽²⁴⁾, a Educação Ambiental não é uma “forma” de educação, não é “ferramenta” para resolução de problemas ou de gestão do meio ambiente. É uma dimensão essencial da educação fundamental, base do desenvolvimento pessoal e social, relação com o meio em que vivemos.

A educação ambiental, segundo Dias⁽²⁵⁾, consiste em um processo que tem por objetivo formar cidadãos com conhecimentos relativos ao meio ambiente biofísico e suas interações, capacitando-os a encontrar soluções e resolver problemas associados com a interação do homem ao meio que o cerca.

Além disso, por ser interdisciplinar; por lidar com a realidade, por adotar uma abordagem que considera todos os aspectos que compõem a educação –

socioculturais, científico-tecnológicos, éticos, e ecológicos - pode e deve ser o agente otimizador de novos processos educativos, por ser catalisadora de uma educação para uma cidadania consciente⁽²⁶⁾.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa se caracteriza por uma pesquisa-ação, que segundo Oliveira⁽²⁷⁾, “implica na realização de um estudo junto a grupos sociais”, neste caso a própria metodologia é gerada com a pesquisa no local da sua realização, um Restaurante Universitário (RU) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), localizado na cidade de Porto Alegre/RS.

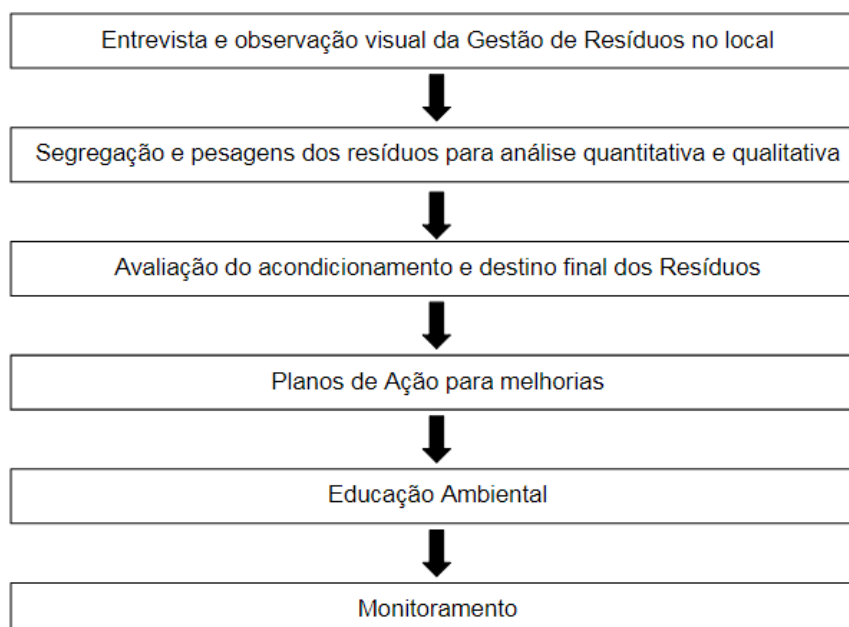
Gil⁽²⁸⁾ conclui que a pesquisa-ação se caracteriza pela participação do pesquisador e dos pesquisados no processo da pesquisa, se distanciando dos princípios da pesquisa científica acadêmica, pois não observa a objetividade da pesquisa empírica clássica.

Sendo uma pesquisa-ação, a própria ferramenta foi desenvolvida com a pesquisa, que é definida como um resultado.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 1 mostra o fluxograma construído ao longo do processo de elaboração do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos para Unidades de Alimentação e Nutrição.

Figura 1. Fluxograma da Ferramenta de Elaboração do Plano



Fonte: Elaborado pelos Autores

As etapas são detalhadas a seguir com a proposta de assegurar que todos os quesitos Legais apresentados tenham sido atendidos.

3.1. Entrevista e observação visual da Gestão de Resíduos no local

Se faz necessário iniciar o PGRS com uma identificação do local, como apresentado no quadro 1. Além disso, é fundamental a aplicação do Levantamento de Aspectos e Impactos ambientais tratados anteriormente para, teoricamente, ter uma prévia sobre os pontos negativos e positivos do local.

Quadro 1. Dados para Identificação

IDENTIFICAÇÃO PARA PLANO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	
Nome:	Ano:
CNPJ:	Telefone:
Endereço:	
Nº Funcionários:	Nº manipuladores de alimentos:
Resp. Técnico:	Formação:
Resp. pela Avaliação:	Cargo:

Fonte: Elaborado pelos autores

Como analisado no RU da UFRGS, o local pode dispor de uma proposta de separação para os diferentes tipos de resíduos, contudo na rotina diária não há tal separação, como consta na figura 2. Vê-se aqui que um saco preto destinado à resíduos não recicláveis estava preenchido com resíduos recicláveis.

Figura 2. Erro de segregação.



Fonte: Elaborado pelos autores.

3.2. Segregação e pesagens dos resíduos para análise quantitativa e qualitativa

Após avaliação referente aos Aspectos e Impactos ambientais é necessário fazer uma análise qualitativa e quantitativa sobre os resíduos da UAN. Para isto é necessário que sejam informados os dados constantes no quadro 2, referentes aos resíduos dispostos no local avaliado, pois alguns locais podem variar em relação aos resíduos gerados.

Quadro 2. Exemplo Análise Qualitativa dos Resíduos Sólidos

RESÍDUOS SÓLIDOS ENCONTRADOS NA UAN AVALIADA	
RECICLÁVEIS	Caixas Longa Vida - leite e suco
	Embalagens plásticas de alimentos
	Garrafas de plástico
NÃO RECICLÁVEIS	Papéis guardanapo e higiênicos

	Embalagens metalizadas: café
COMPOSTÁVEIS	Restos de hortaliças
OUTROS	óleo usado

Fonte: Elaborado pelos Autores

Para a análise quantitativa dos resíduos é necessário realizar pesagens dos recipientes dispostos com resíduos, posteriormente separar os resíduos considerados erros de segregação e realizar nova pesagem para fins de identificar a % deste erro. Como consta exemplificado no quadro 3, a partir de pesagem e segregação elaborada no RU da UFRGS. Para que esta etapa seja concluída é importante conhecer os métodos de separação do local, neste exemplo, baseando-se no RU da UFRGS a disposição é feita em cores de embalagens plásticas, sendo azul para resíduos recicláveis, preto para resíduos não recicláveis e tonéis para resíduos orgânicos e óleo, separadamente.

Quadro 3. Modelo Análise Quantitativa dos Resíduos Sólidos

Data: X/2018	Nº Refeições: 882	Resp. pela pesagem: Bolsista		
Cardápio do dia: Vagem/cenoura, sobrecoxa de frango, hambúrguer de grão de bico, arroz branco, feijão preto, batata sauté, nectarina.				
Tipo Resíduo	Composição resíduos	Massa (Kg)	Massa erro (Kg)	% erro
Saco Azul	Papelão	5.3	5.3	100
Saco Azul	Embalagem plástica, borra de café, guardanapos, cascas de fruta.	1.99	1.38	69.35
Saco Azul	Embalagens plásticas de alimentos	2.35	0	0
Saco Preto	Embalagens de produto de limpeza, esponjas de aço, cascas de ovo e guardanapos	2.2	0.59	26.82
Tonéis	Resto Ingesta	72.4	0	0
Tonéis	Resto Buffet	15.8	0	0

Fonte: Elaborado pelos autores

Como pode ser notado no Quadro 3, mesmo que o local possua uma proposta de separação de resíduos pode ser encontrado resíduos em disposição incorreta. A importância de avaliar o número de refeições servidas no dia e o cardápio dá-se para observação de conter resíduos provenientes de dias anteriores. Além disso, possibilita-se de prover dados indicativos de kg/dia gerados de resíduos,

kg/comensais/dia de resíduos total e resíduos orgânicos, além da % de erro identificado a fim de uma possível proposta de melhoria.

A partir de uma análise qualitativa e quantitativa é possível identificar quais os destinos adequados que a UAN deve aderir para o andamento do PGRS.

3.3. Avaliação do acondicionamento e destino final dos Resíduos

Os resíduos em uma UAN devem ser acondicionados em área separada da produção de alimentos e devem ter um destino adequado. O quadro 4 indica o exemplo de como avaliar o destino que a UAN dá aos seus resíduos comparando com a destinação correta indicada.

Quadro 4. Exemplo de Análise de Acondicionamento e Destinos Corretos

Data Avaliação:		Responsável:	
Tipo de Resíduos	Acondicionamento	Destino Adequado	Situação Atual
Recicláveis	Sacos azuis	Cooperativas Reciclagem	Encaminhado para DMLU e não segregado de forma correta.
Caixas papelão	Dobrar e empilhar	Cooperativa Reciclagem	Acondicionados em sacos azuis
Não recicláveis	Sacos pretos	Aterro Sanitário	Encaminhados para DMLU, sem conhecimento do destino e não segregado de forma correta.
Latas óleo	Sem embalagem	Cooperativa Reciclagem	Encaminhados para DMLU, sem conhecimento do destino
Orgânicos	Tonéis	Empresa Compostagem	ambos corretos
Óleo usado	Tonéis	Empresa - Sabão	ambos correto

Fonte: Elaborado pelos autores.

A partir da situação atual observada, pode-se identificar quais itens não estão em conformidade e então estimar planos de ação para cada um a fim de que sejam melhorados.

3.4. Planos de ação

A partir das análises realizadas até o momento, pode-se identificar inconformidades que necessitam de planos de ação. Desta forma deve ser

preenchida uma tabela especificando o que deve ser feito, como deve, um prazo para resolução e um responsável por cada plano. O quadro 5 demonstra um exemplo, baseado nas análises anteriores.

Quadro 5. Exemplo de Plano de Ação

PLANO DE AÇÃO PARA GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS			
O QUÊ	COMO	PRAZO	RESPONSÁVEL
Segregação resíduos em sacos pretos e azuis	Auxiliar funcionários para entendimento do tipo de resíduo passível ou não de reciclagem.	até dia/mês	XXX
Recicláveis encaminhados para DMLU	Elaborar uma política de segregação de resíduos recicláveis e entrar em contato com cooperativas da cidade onde UAN está localizada, para determinados resíduos.	até dia/mês	XXX

Fonte: Elaborado pelos autores

3.5. Educação Ambiental

Uma UAN possui diversos funcionários, responsáveis ou não pela manipulação dos alimentos, e consumidores de alimentos (comensais) que ali frequentam para realizar suas refeições. Desta forma, é importante atuar diretamente com estas pessoas a partir de uma educação ambiental.

É possível realizar treinamentos com os funcionários a fim de ensinar os tipos de resíduos dispostos na UAN e qual sua disposição e destino adequado. Elaborar uma cartilha de Gerenciamento de Resíduos Sólidos para que todos tenham acesso às informações, independente de estarem ou não presentes nas atividades de treinamentos. Além disso, também é possível disponibilizar informativos no restaurante para que os comensais, que frequentam diariamente o RU, respeitem a segregação dos resíduos ou mesmo não desperdicem alimentos, reduzindo de forma racional a geração de resíduos.

3.6. Monitoramento

Para garantir a melhoria continua dos PGRs, é importante registrar nos planos, de ação datas e realizar e manter uma frequência mensal de realização.

4 CONCLUSÃO

Com a aplicação do plano de gerenciamento de resíduos sólidos, é possível a redução dos impactos ambientais referentes a geração de resíduos no processo de

produção de alimentos em uma UAN. O envolvimento dos comensais nas questões ambientais diárias é de fundamental importância, pois desempenha uma contribuição positiva na preservação das condições ambientais.

REFERÊNCIAS

- 1 ABREU, E.S.; SPINELLI, M.G.N.; ZANARDI, A.M.P. Gestão de Unidades de Alimentação e Nutrição: um modo de fazer. 3. ed. rev. e ampl. São Paulo: Metha, 2009. 342p.
- 2 TEIXEIRA, Suzana Maria F. Gomes et al. Administração Aplicada às Unidades de Alimentação e Nutrição. São Paulo: Atheneu, 2004.
- 3 PROENÇA, R.P.C.; SOUZA, A.A.; VEIROS, M.B.; Hering, B. Qualidade nutricional e sensorial na produção de refeições. Série Nutrição. Florianópolis: EdUFSC, 2005.
- 4 KINASZ, T.R.; WERLE, H.J.S. Produção e composição física de resíduos sólidos em alguns serviços de alimentação e nutrição, nos municípios de Cuiabá e Várzea Grande, Mato Grosso: questões ambientais. Rev. Higiene Alimentar, São Paulo, v.20, n.144, p. 64-71, 2006.
- 5 LLACH, J.; PERRAMON, J.; ALONSO-ALMEIDA, M.M.; BAGUR-FEMENÍAS, L. (2013) Joint impact of quality and environmental practices on firm performance in small service businesses: an empirical study of restaurants. Journal of Cleaner Production, v. 44, p. 96-104.
- 6 ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 14.001: Sistemas de Gestão Ambiental – requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro, 2004.
- 7 ALMEIDA, T.S.M.; SELITTO, M.A. Avaliação do desempenho ambiental de uma instituição pública de ensino técnico e superior. Produção, v. 23, n. 3, p. 625-636, jul./set. 2013.
- 8 SHIGUNOV NETO, A.; CAMPOS, L.M.S.; SHIGUNOV, T. (2009) Fundamentos da Gestão Ambiental. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna.
- 9 ALSHUWAIKHAT, H.M.; ABUBAKAR, I. An integrated approach to achieving campus sustainability: assessment of the current campus environmental management practices. Journal of Cleaner Production, v. 16, p. 1777-1785, 2008.
- 10 MONTEIRO, J.H. IBAM. Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos. Instituto Brasileiro de Administração Municipal. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.
- 11 VENZKE, C. S. A geração de resíduos em restaurantes, analisada sob a ótica da produção mais limpa. Porto Alegre: UFRGS/EA/PPGA, 2000. Trabalho de conclusão de curso de especialização em produção mais limpa e ecobusiness.
- 12 GRAU. Green Restaurant Association University. Green restaurant Certification 4.0 Standards. 2012. Disponível em: <<http://www.dinegreen.com/restaurants/standards.asp>>. Acesso em julho/2018.
- 13 NAIME R. Gestão de resíduos sólidos: uma abordagem prática. Novo Hamburgo: Feevale; 2005.
- 14 BESEN, G. R. Coleta seletiva com inclusão de catadores: construção participativa de indicadores e índices de sustentabilidade. São Paulo, 2011. 275p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo.

- 15 ABRELPE - Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. São Paulo/SP. 2016. Disponível em <file:///E:/PGRS%20RU%202018/panorama2016abrelpe.pdf> acesso em junho de 2018.
- 16 BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União, Brasília, 2010.
- 17 SILVA, M.M. DA; SALVADOR, C.G.; CAMPANI, D.B.; TUBINO, R.M.C. Management Plan at the Faculty of Architecture – UFRGS – Porto Alegre. 7º Congreso Interamericano de Residuos Sólidos. Diretoria de Residuos Sólidos da Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Cuenca, Equador, 2017.
- 18 CRITTENDEN, B.; KOLACZKOWSKI, S. (1995) Waste minimization: a practical guide. Inglaterra: Icheme, 81 p.
- 19 JACOBI, P. R.; BESEN, G. R. Gestão de resíduos sólidos na Região Metropolitana de São Paulo – avanços e desafios. São Paulo em Perspectiva, São Paulo, v.20, n.2, 2006.
- 20 BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução RDC no 216, de 15 de setembro de 2004, Dispõe sobre Regulamento Técnico de Boas Práticas para Serviços de Alimentação.
- 21 STRASBURG, V.J. Desenvolvimento de instrumentos para a avaliação de desempenho ambiental na produção de refeições. Tese (Doutorado em Qualidade Ambiental) 142p. - Feevale, Novo Hamburgo/RS - 2016.
- 22 MORAN, J. M. R. A educação que desejamos: novos desafios e como chegar lá. Campinas: Papyrus, 2007. 174 p.
- 23 NUNES, I. R. A avaliação do ciclo de vida como ferramenta para a educação ambiental: o uso da redução do desperdício e do aumento da produtividade como indicadores. 2009. 277 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Área de Tecnologia Nuclear). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Autarquia Associada à Universidade de São Paulo. São Paulo.
- 24 SAUVÉ, L. Educação Ambiental: possibilidades e limitações. Revista Educação e Pesquisa. São Paulo, v. 31, n. 2, p. 317-322, 2005.
- 25 DIAS, G. F. Educação ambiental, princípios e práticas: estatuto da igualdade racial e o PL 73/99. São Paulo: Gaia, 1992.
- 26 DIAS, G. F. Educação ambiental: princípios e práticas. 9 ed. São Paulo: Gaia, 2004.
- 27 OLIVEIRA, M. M. DE. Como fazer pesquisa qualitativa. 5ª edição. Petrópolis – RJ, Editora Vozes, 2013. ISBN 978-85-326-3377-4. 232p.
- 28 GIL, A. C. Métodos e técnicas de pesquisa social. 5ª edição, São Paulo, S.P., Atlas, 1999. ISBN 85-224-2270-2. 206p.

DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA CARROS: APLICAÇÃO COMO FONTE INTEGRADA EM RESIDÊNCIAS

Feijó, E.P.¹

Flach, M.A.²

- Aluno do curso de Eng. Mecânica, Émerson Petry Feijó, Universidade Luterana do Brasil
emerson_petry@hotmail.com.
- Dr. Engenharia Mecânica, Miguel Afonso Flach, Universidade Luterana do Brasil
migflch@yahoo.com.

Resumo

Atualmente, em virtude de fatores econômicos como os altos custos de insumos essenciais e ainda fatores ambientais devido ao enorme impacto causado pelas principais fontes, o desenvolvimento de tecnologias e aplicações de baixo impacto ambiental além de disponibilidade de recursos é imprescindível. O presente trabalho tem como objetivo principal dimensionar um sistema solar fotovoltaico aplicável em veículos de duas formas principais, conceitualmente distintas, sendo como fonte secundária em veículos à combustão interna tornando o veículo híbrido ou como fonte principal em veículos elétricos. A metodologia utilizada para dimensionamento básico foi similar a usada no dimensionamento de sistemas estáticos onde a área de insolação, coordenadas geográficas e azimutais são utilizadas juntamente com softwares de refino e banco de dados para definir a capacidade de geração de energia. A energia produzida pode ser consumida de diversas maneiras tanto no veículo podendo fornecer energia para motores elétricos, e ainda outros equipamentos usados na condução, bem como servindo de fonte de energia integrada com residências a partir de equipamentos embarcados no veículo. O sistema pode ser associado a outras formas de cogeração tal como freios regenerativos. A aplicação proposta apresenta vantagens econômicas através de redução do consumo de combustíveis e energia elétrica. Não obstante almeja-se ampliar os debates acerca do tema da utilização fotovoltaica em veículos e outras inovações.

Palavras-chave: Fotovoltaica; Sistemas Integrados; Veículos híbridos.

SIZE OF PHOTOVOLTAIC SYSTEM FOR CARS: APPLICATION AS SOURCE INTEGRATED IN RESIDENCES

Abstract

Currently, due to economic factors such as the high costs of essential inputs and environmental factors due to the enormous impact caused by the main sources, the development of technologies and applications of low environmental impact besides the availability of resources is indispensable. The main objective of this work is to design a solar photovoltaic system applicable to vehicles of two main forms, conceptually distinct, being as a secondary source in internal combustion vehicles making the hybrid vehicle or as the main source in electric vehicles. The

methodology used for basic design was similar to that used in the design of static systems where the area of sunshine, geographic coordinates and azimuths are used together with refining and database software to define the power generation capacity. The energy produced can be consumed in a number of ways both in the vehicle and can provide power for electric motors, as well as other equipment used in driving, as well as serving as an integrated energy source with residences from in-vehicle equipment. The system may be associated with other forms of cogeneration such as regenerative brakes. The proposed application presents economic advantages by reducing the consumption of fuels and electric energy. Nevertheless it is hoped to broaden the debates on the subject of the photovoltaic use in vehicles and other innovations.

Key words: Photovoltaics; Integrated systems; Hybrid vehicles.

1 INTRODUÇÃO

A demanda por energia elétrica e combustíveis fósseis nos dias atuais tem atingido patamares extraordinários, o que vem impulsionando e viabilizando o fomento e o desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica, bem como remodelando áreas da indústria a muito consolidadas. A que apresenta maior relevância, seguramente é a indústria automotiva que sempre esteve na vanguarda do desenvolvimento de novas tecnologias. Este trabalho busca dimensionar um sistema completo de geração, controle e segurança para aproveitamento da energia fornecida através da irradiação solar, para consumo final tanto no veículo como fora dele. O sistema é versátil permitindo ao usuário conectar-se a rede elétrica de sua residência fornecendo assim a energia do local, por tempo determinado ou até mesmo permanecer conectado quando o veículo não for utilizado. A capacidade é diretamente ligada ao nível de insolação ao qual os painéis solares utilizados são expostos bem como do tempo total de exposição. Neste contexto, a enorme extensão territorial do Brasil o situa sobre a linha do Equador, zona está de ótima incidência de raios solares. Já o gerenciamento das cargas e controles de conexão é realizado via smartphones ou celulares remotamente, assim o usuário é informado em tempo real sobre o status do sistema podendo assim otimizar a capacidade. Para a aplicação não são necessárias grandes mudanças nas características construtivas do veículo tão pouco grandes variações aerodinâmicas sendo o peso e o volume interno ocupado pelo equipamento e ainda questões estéticas as principais alterações. Os efeitos da aplicação são essencialmente redução do consumo e emissões de gases nocivos quando utilizado em veículos a combustão, e fornecimento de energia para veículos elétricos podendo ser associada a outras fontes. Em ambas as aplicações o veículo pode fornecer energia para edificações de baixa tensão para cargas básicas comuns as dos lares. Desta forma possibilita a redução do consumo de energia proveniente de fontes degradantes agregando valor.

- **MATERIAL E MÉTODOS**

Buscou-se estabelecer uma metodologia levando em consideração alguns pontos fundamentais sendo eles: a disponibilidade de recurso na micro e macro

regiões principais de utilização do veículo adaptado; a área deste veículo disponível para instalação dos painéis na parte externa e do restante do equipamento internamente; período diário de exposição do veículo ao Sol.

Estas informações são imprescindíveis para se especular uma capacidade através de cálculos e softwares.

Desta forma foram pré definidas variáveis de entrada a fim de promover o dimensionamento de um sistema aplicável ao caso, sendo elas:

- Região de aplicação: Litoral norte do Rio Grande do Sul, com maior utilização e residência cuja conexão com o veículo será também prevista é a cidade de Osório, com residência de conexão situada nas coordenadas de latitude e longitude.
- Período de exposição: o veículo fica exposto a irradiação global em média por seis horas diariamente.
- Área disponível: a área prevista para aplicação é de 2,350, sendo referente ao capô e teto de um veículo Renault Megane Grandtour.

2.1 DISPONIBILIDADE DE RECURSO

O Sol é considerado, de certa forma, como uma fonte inesgotável de energia. Estima-se que anualmente ele forneça cerca de $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia ao nosso planeta, considerando que esta energia, proveniente através da radiação solar está disponível sem custos diretos de transmissão o que implica em enorme potencial de aplicação.

Em movimento anual de translação entorno do Sol, a órbita da Terra descreve uma elipse com inclinação de seu eixo de aproximadamente $23,5^\circ$ em relação a linha equatorial. A Declinação solar vem a ser a posição do Sol, ao meio dia solar, em relação à linha do Equador, no Norte positivo. Isto é, a soma da declinação solar e da latitude do local indicam a trajetória solar aparente em uma data e local determinados.

Porém devido a sua estrutura e de que esta ocorre em camadas, o modelo que representa a radiação não é regular, logo se conhecer as características da radiação solar da região do projeto, levando em consideração importantes variáveis como inclinação dos painéis fotovoltaicos, sombreamento, azimuth, latitude e longitude, usou-se o software Radiasol, que dentre as funções expõe níveis prováveis de insolação anual, com base em bancos de dados. O atlas solarimétrico brasileiro, demonstra as regiões de maior radiação solar no país cujo parte do território encontra-se na zona tropical terrestre, área de grande incidência solar.

2.2 SELEÇÃO DE MATERIAIS

A partir dos dados fornecidos pelo software, relativos ao potencial de cada região pode-se selecionar o tipo de painel fotovoltaico, a quantidade de módulos, a potência de cada painel e etc. de acordo com a área disponível do veículo.

Os painéis selecionados para o trabalho foram do tipo monocristalino semi flexível de 100W. Quatro unidades associadas em paralelo totalizando uma área de coleta de 2,34 m².

Da análise da corrente elétrica máxima fornecida pela associação de painéis fotovoltaicos se define o tempo de carga do banco de baterias, neste caso composto

pela bateria original do veículo, de 60Ah e por apenas uma bateria adicional de 120Ah.

O inversor de tensão tem entrada em 12V/24Vcc e saída de 110/220Vca possui potência de 3000W.

O controle de correntes de entrada e saída é gerenciado por controlador de carga de 30A. Através dele também ocorre o controle de desconexão do suprimento elétrico fornecido pelo alternador do veículo por desvio, atuando conforme níveis de carga, de forma a reduzir a potência motora consumida para geração da eletricidade usada no carro.

Relés de proteção, fiações e fusíveis completam o conjunto de equipamentos embarcados, que apresenta ainda um sensor de nível responsável por interromper automaticamente a carga do banco de baterias caso existam inclinações elevadas. Os equipamentos internos devem ser alojados em um quadro de distribuição com ventilação forçada de dimensões 60x30x40 cm.

2.2.1 PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Painéis fotovoltaicos são dispositivos capazes de criar uma diferença de potencial elétrico a partir de incidência de luz. Os painéis utilizados atualmente em grande escala representam a terceira geração de células solares, e são constituídas de células fotoeletroquímicas e nanocristais.

A eficiência das células de hoje podem variar de 16% até 28% e esta energia é captada sem custos de transmissão.

Costumam apresentar extensa vida útil sem grande perda de eficiência além de resistência a intempérie.

2.2.2 BANCO DE BATERIAS

Os acumuladores de energias, são dispositivos eletroquímicos para armazenamento de energia elétrica. São compostos, em sua grande maioria, por um recipiente, separadores e eletródos banhados por um eletrólito.

Quando associados em maior quantidade recebem o nome de baterias.

As transformações ocorridas em baterias são do tipo eletroquímica, logo são quase totalmente reversíveis, possibilitando assim diversos ciclos de carga e descarga.

Existem muitos tipos de baterias, sendo de diferentes tamanhos, formas, capacidades, e composição química. Para o projeto foi utilizada uma bateria do tipo estacionária, geralmente usada em sistemas de alimentação de emergência, fornecimento de energia contínuo por períodos prolongados, porém devem permanecer em posição horizontal.

2.2.3 CONTROLADORES DE CARGA

Um controlador de carga tem como função básica proteger os acumuladores ou bancos de baterias de excessos no carregamento e é componente essencial em sistemas autônomos de geração de energia. No caso específico dos sistemas fotovoltaico off-grid, impede que as baterias sejam expostas à tensão após estarem

carregadas, e posteriormente impede que as mesmas se descarreguem nos painéis durante a noite.

Os mais comuns apresentam diodos para impedir o fluxo inverso de corrente, Já controladores mais modernos atuam desconectando os painéis conforme é completada a carga do banco, alguns possuindo algoritmos tipo MPPT.

2.2.4 INVERSORES DE TENSÃO

Inversores são equipamentos destinados ao controle do fluxo de energia entre uma fonte de tensão contínua e uma carga em corrente alternada monofásica ou polifásica, controlando ainda o valor de tensão e da frequência dependendo da aplicação. Algumas das aplicações mais comuns são:

- Partida ou acionamento de máquinas elétricas de corrente alternada;
- Aquecimento indutivo;
- Chaveamento de fontes;
- Sistemas de alimentação alternada ininterrupta a partir de acumuladores;

2.3 UTILIZAÇÃO DA ENERGIA PARA ECONOMIA DE COMBUSTÍVEL

A energia gerada pode ser utilizada no veículo de diversas maneiras, sendo a mais básica a de suprir o consumo elétrico original.

Porem pode ser utilizada para alimentar circuitos diversos como motores elétricos utilizados juntamente com o motor a combustão do veículo.

Através do uso destes motores e desconexão do fornecimento via alternador ocorre uma economia mensurável de combustível pois diminui a potência motora exigida pelo sistema elétrico original.

2.4 INTEGRANDO O SISTEMA A REDE RESIDENCIAL

Para a conexão do veículo com a rede elétrica da residência, pequenas alterações nos circuitos elétricos da edificação são necessárias, a saber a separação dos circuitos que se almeja suprir, além da instalação de uma contactora de 40A alimentada por uma tensão de 220V, fornecida pelo inversor partir do próprio veículo, que executa o desvio das cargas automaticamente quando é feita a conexão via cabo e conectores macho e fêmea.

Variações deste sistema podem ser aplicadas para integrações em sistemas integrados ou isolados da rede, bem como associação de mais de um veículo com sistema aplicado, podendo assim fornecer até mesmo suprimento integral ao lar.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Valendo-se do controle das variáveis de entrada tensão e corrente, utilizando equações fundamentais da eletrotécnica e ainda um fator de segurança de 1,4 obteve-se um tempo de carregamento completo do banco de baterias de 120AH em um período de 6 horas de exposição à irradiação global.

Todo o equipamento agrega um peso extra de 72 kg ao veículo.

Tabela 1. Características dos equipamentos.

	Qtd. (unid)	Tensão entrada (Vcc)	Tensão saída (Vcc)	Corrente (A)
Painel fotovoltaico	4	-	18.5	5.5
Baterias	1	12	12	-
Controlador	2	18	14	30
Inversor de tensão	1	12	-	-

A respeito de todos os materiais selecionados, é importante salientar que estão disponíveis no mercado, e são produzidos por variados fabricantes, possuindo todos alta qualidade e confiabilidade, além de obedecer a rígidas normas de segurança para sua comercialização.



Figura 1. Conjunto de equipamentos que compõem o sistema.

4 CONCLUSÃO

A energia proveniente do sol é perfeitamente utilizável tanto em sistemas estáticos quanto em sistemas móveis como em carros comuns, veículos elétricos, barcos e até mesmo em aviões.

Por tanto, conclui-se que para o caso avaliado, a área de 2,35 m² referente ao veículo de aplicação, tem potencial de carregamento completo do banco de baterias proposto em um período de exposição à irradiação global de 6h diárias.

Não obstante novas discussões podem ampliar os debates acerca da maneira mais vantajosa de se utilizar esta energia juntamente com o desenvolvimento de novas técnicas utilizadoras de recursos renováveis.

Agradecimentos

Dedico agradecimentos ao DR. Flach, Miguel Afonso por toda a orientação no presente trabalho e também a todo grupo de pesquisadores do centro SolarTech da Universidade Luterana do Brasil, responsável por diversas pesquisas na área da tecnologia.

REFERÊNCIAS

- ATLAS SOLARIMÉTRICO DO BRASIL, disponível em <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download>. Acesso dia 05/09/2018
- CREDER, H, Instalações elétricas. 15. ed. São Paulo: Ridel, 2007
- CARROS MOVIDOS A ENERGIA SOLAR, disponível em <https://neeasciencenews.wordpress.com>. Acesso em 07/08/2018
- 7 CARROS DO FUTURO MOVIDOS APENAS COM ENERGIA SOLAR, disponível em <https://neeasciencenews.wordpress.com>. Acesso em 07/08/2018
- KIT DE ENERGIA SOLAR, disponível em <https://www.google.com.br/search?q=esquema+sistema+solar+para+carros&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=2ahUKEwjkkkeyyqwTdAhVKGJAKHcMjCzkQsAR6BAgEEAE&biw=1366&bih=651#imgrc=-8F6kX8zv25ADM:> . Acesso dia 04/09/2018

ANÁLISE DE PARÂMETROS DE ESTAMPAGEM INCREMENTAL PARA ALUMÍNIO PURO COM DIÂMETRO DE FERRAMENTA 22 mm

Schreiber, R. G.¹

Teixeira, A. R.²

Schaeffer, L.³

¹ *Doutorando em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Rafael Gustavo Schreiber, Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) – Campus Lages, rafael.schreiber@ifsc.edu.br*

² *Mestrando em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Andrison Rodrigues Teixeira, G1 Equipamentos, andrison@g1equipamentos.com.br*

³ *Professor Doutor em Conformação Mecânica, Lírio Schaeffer, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), schaeffer@ufrgs.br*

Resumo

O processo de Estampagem Incremental (*Incremental Sheet Forming*) é aplicado à obtenção de pequenos lotes e também à fabricação de protótipos de chapas conformadas, sendo facilmente realizado em um centro de usinagem CNC. Neste trabalho foram realizados 12 ensaios de Estampagem Incremental para conformação de canais em chapas de alumínio puro (AA1200-H14) de 1 mm de espessura com ferramenta de diâmetro 22 mm, a fim de avaliar a influência dos parâmetros de avanço e rotação da ferramenta no processo. Em todos os ensaios foi mantido o incremento vertical de 0,5 mm, com o valor de avanço da ferramenta variado entre 200 mm/min, 400 mm/min e 800 mm/min e a rotação entre 0 rpm (com o *spindle* livre), 200 rpm, 400 rpm e 800 rpm. A lubrificação no processo foi feita com graxa UNILIT MP BSM. Nos ensaios realizados verificou-se que o parâmetro de avanço não apresenta nenhuma influência na estampabilidade de alumínio puro, quando combinado com rotação entre 0 e 400 rpm. Sendo constatada influência do avanço da ferramenta sobre a estampabilidade da chapa somente para o valor de rotação mais elevado (800 rpm).

Palavras-chave: Estampagem Incremental; Alumínio Puro; Rotação; Avanço.

ANALYSIS OF INCREMENTAL SHEET FORMING PARAMETERS OF FOR PURE ALUMINUM WITH TOOL DIAMETER 22 mm

Abstract

The Incremental Sheet Forming is applied small lot sizes and also to the manufacture of prototypes of formed sheets, being easily carried out in a CNC production center. In this work, 12 incremental sheet forming tests were performed to form cavity of 1 mm thickness pure aluminum sheets (AA1200-H14) with a 22 mm diameter tool, in order to evaluate the influence of the tool feed rate and rotation speed parameters on the process. In all tests the step down of 0.5 mm was maintained, with the tool feed rate varied from 200 mm/min, 400 mm/min and 800 mm/min and the rotation speed between 0 rpm (with free spindle), 200 rpm, 400 rpm and 800 rpm. The lubrication in the process was done with UNILIT MP BSM grease. In the tests performed it was verified that the feed rate parameter does not have any influence on the formability of

pure aluminum when combined with rotation speed between 0 and 400 rpm. The influence of the tool feed rate on the sheet's forming was observed only for the highest rotation speed value (800 rpm).

Key words: Incremental Sheet Forming; Pure Aluminum; Rotation Speed; Feed Rate.

1 INTRODUÇÃO

O processo de Estampagem Incremental (*Incremental Sheet Forming*) tem sido estudado em diversas aplicações, como na prototipagem e fabricação de pequenos lotes de peças de aço para a indústria automotiva⁽¹⁾, assim como na fabricação de próteses de crânio⁽²⁾ em titânio e na conformação de ligas não ferrosas⁽³⁾ e materiais poliméricos⁽⁴⁾. Este processo pode ser realizado em uma máquina específica destinada à Estampagem Incremental, assim como também pode ser adaptado facilmente em uma fresadora ou em um centro de usinagem CNC.

Para a realização da Estampagem Incremental, uma chapa com espessura s_0 , fixada nas extremidades, é conformada pela ação de uma ferramenta rotativa com ponta semiesférica de diâmetro d_f , que segue uma trajetória definida até que a chapa assumo o formato desejado, conforme indicado na Figura 1.

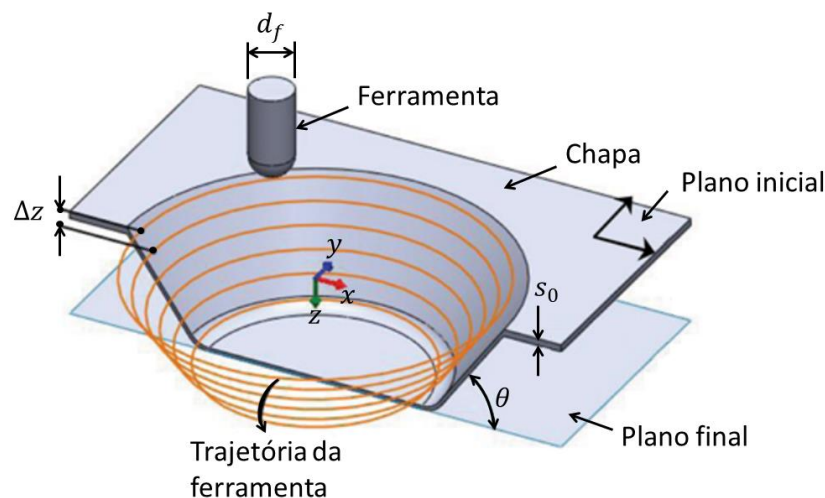


Figura 1. Estampagem Incremental⁽⁵⁾

A profundidade final da peça conformada por Estampagem Incremental, é atingida pela trajetória da ferramenta por diversos incrementos verticais Δz , desde o plano inicial até o plano final. Quanto maior for o ângulo θ , menor será a espessura final da chapa estampada s_1 . Sendo que a relação entre esses parâmetros é denominada “lei do seno”⁽⁶⁾ e é expressa na Equação 1.

$$s_1 = s_0 \cdot \text{sen}(90 - \theta) \quad (1)$$

Onde:

s_0 = espessura final da chapa (mm);

s_1 = espessura inicial da chapa (mm);

θ = ângulo de parede de chapa com o eixo horizontal (°).

Muitos trabalhos foram realizados para avaliação da influência dos parâmetros do processo de Estampagem Incremental, como o ângulo θ e espessura inicial da chapa s_0 ⁽⁷⁾, assim como o incremento vertical Δz ⁽⁸⁾, a velocidade de rotação N ⁽⁹⁾, o avanço F ⁽¹⁰⁾ e o diâmetro da ferramenta d_f ⁽¹¹⁾.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A fim de avaliar a influência dos parâmetros de velocidade de avanço F e rotação N , utilizando ferramenta de diâmetro 22 mm, foi proposto um experimento de Estampagem Incremental para conformação de um canal em uma chapa de alumínio piro AA1200-H14 com 1 mm de espessura. Foram realizados 12 experimentos com a ferramenta seguindo um percurso apenas no sentido vertical e longitudinal, conforme indicado na Figura 2.

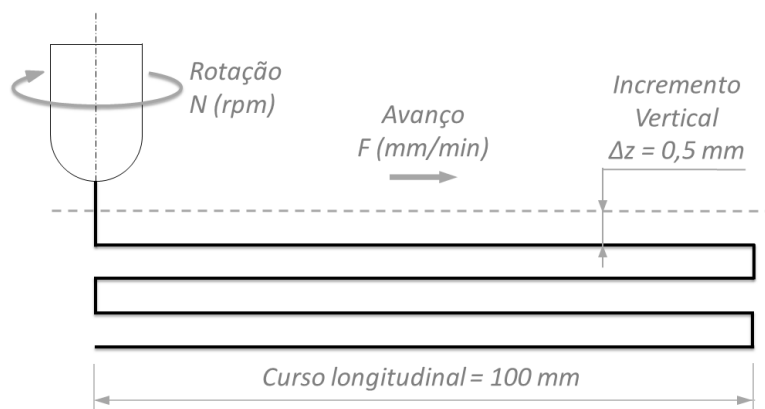


Figura 2. Parâmetros do processo e percurso da ferramenta nos ensaios.

Os experimentos foram realizados em um centro de usinagem CNC ROMI, modelo Discovery 308, utilizando os parâmetros de avanço $F = 200$ mm/min, 400 mm/min e 800 mm/min e rotação $N = 0, 200$ rpm, 400 rpm e 800 rpm. Em todos os experimentos foi mantido o incremento vertical Δz constante em 0,5 mm, o curso longitudinal em 100 mm e a profundidade máxima estampada h_1 foi registrada no momento em que ocorreu o surgimento de trinca no canal estampado. Cada experimento foi interrompido logo após a ruptura da chapa. A Figura 3 apresenta o perfil do canal estampado, indicando os parâmetros de profundidade máxima estampada h_1 , espessura inicial s_0 e espessura final da chapa estampada s_1 .

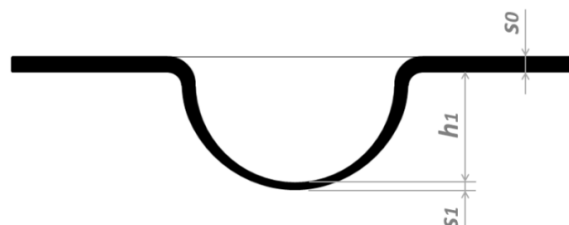


Figura 3. Perfil do canal estampado após ensaios de Estampagem Incremental

Para estampagem de cada chapa foi utilizado um dispositivo constituído de uma matriz parcial e um prensa chapas, fabricado em aço SAE1020, usando

ferramenta com ponta semiesférica de diâmetro 22 mm fabricada em aço rápido, conforme apresentado na Figura 4.

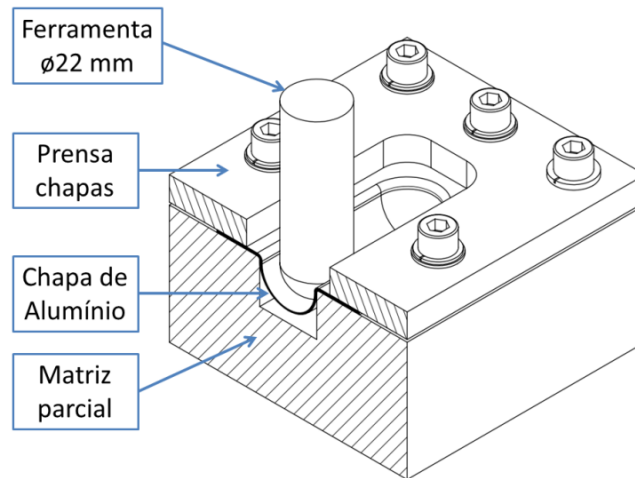


Figura 4. Dispositivo para realização dos experimentos de estampagem incremental.

Durante a realização dos experimentos foi feita a lubrificação com graxa preta com bissulfeto de molibdênio UNILIT MP BSM, através de pincel. A Figura 5 apresenta a realização dos experimentos no centro de usinagem CNC com a chapa de alumínio lubrificada com graxa.

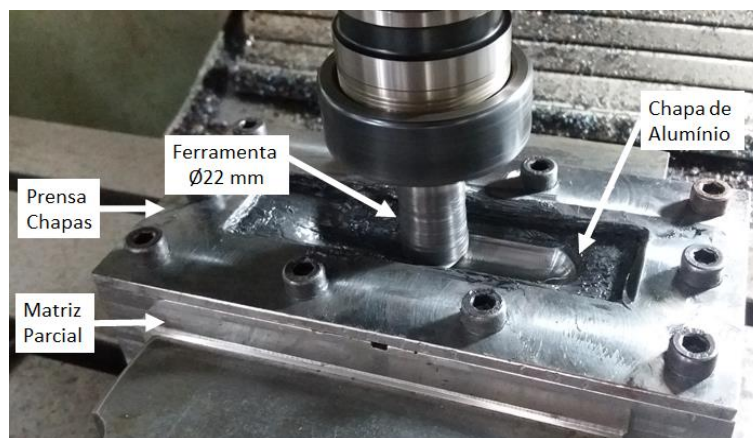


Figura 5. Realização dos experimentos no Centro de Usinagem CNC.

Antes dos experimentos as chapas passaram por gravação eletroquímica com uma grade de círculos com diâmetro 2,5 mm. Sendo que após a conformação os círculos se transformaram em elipses e a elipse com maior deformação, obtida ao lado a trinca foi utilizada para determinação das deformações ϕ_1 e ϕ_2 , sendo que logo depois do surgimento da trinca ocorreu a interrupção do experimento. A Figura 6a apresenta a variação dimensional da grade de círculos gravados na chapa, onde é possível verificar o diâmetro do círculo gravado na chapa d , assim como o comprimento da elipse d_1 e a largura da elipse d_2 , enquanto que a Figura 6b apresenta a chapa após realização da Estampagem Incremental, indicando o local de interrupção do experimento e um detalhe ampliado onde é possível verificar a trinca e a elipse usada para determinação das deformações.

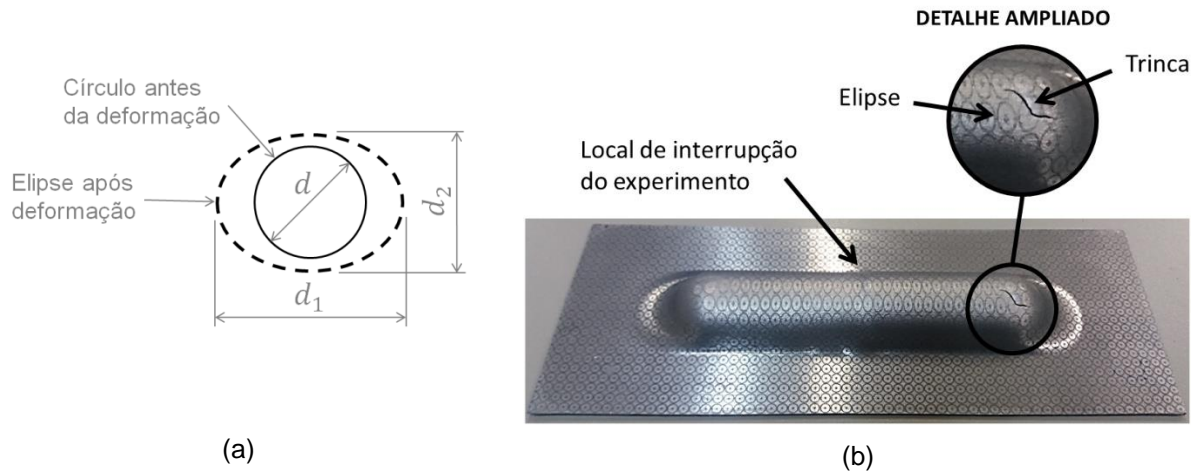


Figura 6. Deformações na chapa estampada: (a) Variação dimensional da grade de círculos gravados na chapa e (b) Chapa após estampagem

O valor da deformação φ_1 foi determinado pela relação entre o comprimento da elipse e o diâmetro do círculo gravado na chapa, conforme Equação 2, enquanto que o valor da deformação φ_2 foi determinado pelo relação entre a largura da elipse pelo diâmetro do círculo gravado na chapa, conforme Equação 3.

$$\varphi_1 = \ln \frac{d_1}{d} \quad (2)$$

Onde:

φ_1 = deformação verdadeira no comprimento (-);

d_1 = comprimento da elipse - obtida pela deformação do círculo gravado na chapa para análise das deformações (mm);

d = diâmetro do círculo gravado na chapa - para análise das deformações (mm).

$$\varphi_2 = \ln \frac{d_2}{d} \quad (3)$$

Onde:

φ_2 = deformação verdadeira na largura (-);

d_2 = largura da elipse - obtida pela deformação do círculo gravado na chapa para análise das deformações (mm).

O valor da deformação na espessura φ_3 foi calculado pela lei da constância de volume, conforme Equação 4.

$$\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 = 0 \quad (4)$$

Onde:

φ_3 = deformação verdadeira na espessura (-);

Com o valor da deformação na espessura φ_3 e o valor da espessura inicial $s_0 = 1$ mm, com base na Equação 5, é possível deduzir a Equação 6 e determinar a espessura final s_1 .

$$\varphi_3 = \ln \frac{s_1}{s_0} \quad (5)$$

$$s_1 = e^{\varphi_3} \cdot s_0 \quad (6)$$

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos 12 experimentos de Estampagem Incremental, foi construída a Tabela 1, que apresenta o número de cada experimento e os valores de avanço e rotação utilizados, assim como a profundidade em que ocorreu a trinca h_1 , a espessura final da chapa s_1 e as deformações φ_1 , φ_2 e φ_3 .

Tabela 1. Resultados dos Ensaios de Estampagem Incremental em AA1200-H14 com ferramenta de diâmetro 22 mm

Nº	N (rpm)	F (mm/min)	h_1 (mm)	s_1 (mm)	φ_1 (-)	φ_2 (-)	φ_3 (-)
1	livre	200	11,0	0,44	0,83	0	-0,83
2	livre	400	11,0	0,44	0,83	0	-0,83
3	livre	800	11,0	0,44	0,83	0	-0,83
4	200	200	11,0	0,44	0,83	0	-0,83
5	200	400	11,0	0,44	0,83	0	-0,83
6	200	800	11,0	0,44	0,83	0	-0,83
7	400	200	11,0	0,44	0,83	0	-0,83
8	400	400	11,0	0,44	0,83	0	-0,83
9	400	800	11,0	0,44	0,83	0	-0,83
10	800	200	11,5	0,40	0,92	0	-0,92
11	800	400	11,0	0,44	0,83	0	-0,83
12	800	800	10,0	0,48	0,74	0	-0,74

Conforme indicado na Tabela 1, verifica-se que a deformação φ_1 variou de 0,74 a 0,92 em todos os experimentos, mantendo-se constante a deformação $\varphi_2 = 0$, indicando o estado plano de deformações. Enquanto que a profundidade em que ocorreu a trinca h_1 variou de 10,0 mm a 11,5 mm.

A Figura 7 apresentada, para cada valor de avanço F utilizado nos experimentos, a relação entre a rotação N e deformação máxima obtida φ_1 .

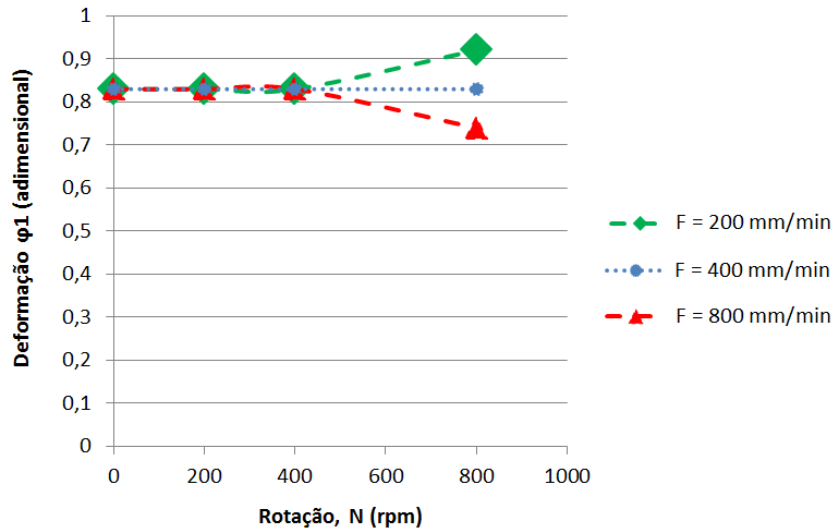


Figura 7. Relação de rotação N e deformação ϕ_1 para cada velocidade de avanço F nos experimentos.

Na Figura 7 é indicado que, utilizando ferramenta de diâmetro 22 mm, entre 0 a 400 rpm não há influência do avanço sobre a deformação da chapa. Sendo que somente com o uso de rotação elevada (800 rpm) o avanço apresenta influência na estampabilidade da chapa e, nesse caso, quanto menor for o valor de velocidade de avanço da ferramenta, maior será a estampabilidade no processo, assim como concluído por Arruda⁽¹²⁾.

Neste estudo foi possível obter o maior valor de deformação no décimo experimento, com menor valor de velocidade de avanço ($F = 200$ mm/min) e maior velocidade de rotação ($N = 800$ rpm).

A partir das deformações máximas apresentadas foram determinadas as Retas Limite de Fratura para os três últimos experimentos, realizados com rotação 800 rpm, nos quais houve variação na estampabilidade em função do avanço utilizado, conforme Figura 8.

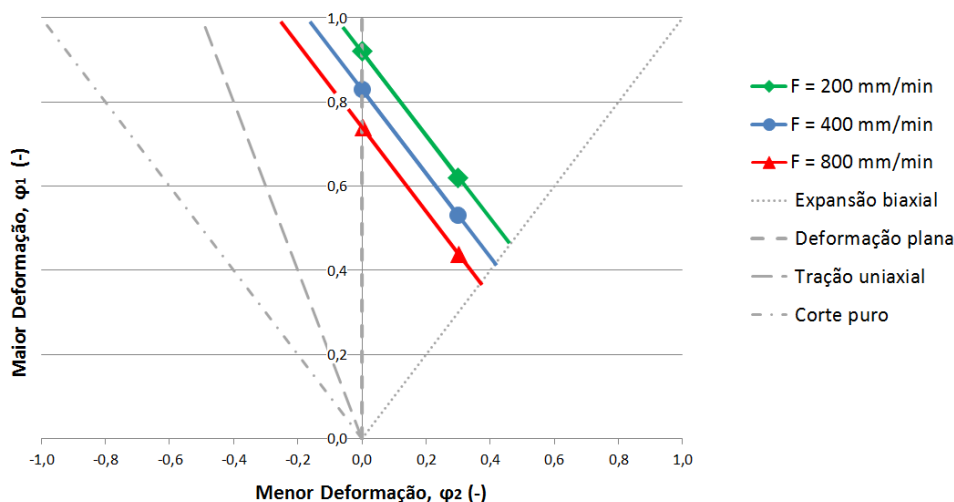


Figura 8. Retas Limite de Fratura para os experimentos 10, 11 e 12 com avanço variando entre 200 mm/min, 400 mm/min e 800 mm/min

Na Figura 8 fica evidente a influência do avanço na determinação do limite de conformação. De forma que a maior deformação pode ser obtida combinando alta rotação com baixa velocidade de avanço. Para os demais experimentos (do primeiro ao nono) a deformação máxima obtida foi $\varphi_1 = 0,83$ e sua Reta Limite de Fratura é a mesma do décimo primeiro experimento.

4 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma análise da influência dos parâmetros de avanço e rotação na estampabilidade de chapas de alumínio puro AA1200-H14, conformadas por Estampagem Incremental com ferramenta de diâmetro 22 mm. Concluindo que a maior deformação pode ser obtida com avanço de 200 mm/min e rotação de 800 rpm.

No entanto, na faixa de rotação entre 0 e 400 rpm não há influência do valor da velocidade de avanço utilizada na estampabilidade da chapa (dentro da faixa de valores analisados).

Conclui-se ainda que é possível determinar diferentes Retas Limites de Fratura para o mesmo material, de acordo com os parâmetros selecionados.

REFERÊNCIAS

1. AMINO, M.; MIZOGUCHI, M.; TERAUCHI, Y.; MAKI, T. Current status of “Dieless” Amino’s incremental forming. *Procedia Engineering*. 2014;81(October):54–62.
2. DALEFFE, A. Fabricação de Próteses Cranianas Personalizadas em Chapas de Titânio Através da Estampagem Incremental. 119 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: 2014.
3. MAXIMILIANO, G. Estampagem Incremental de Múltiplos Passes em Chapa de Latão C268. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.
4. SILVA, M.B.; ALVES, L.M., MARTINS, P. A. F. Single point incremental forming of PVC: Experimental findings and theoretical interpretation. *European Journal of Mechanics, A/Solids*. Elsevier Masson SAS; 2010;29(4):557–66.
5. HUSSAIN, G.; AL-GHAMDI, K. A., KHALATBARI, H.; IQBAL, A.; HASHEMIPOUR, M. Forming Parameters and Forming Defects in Incremental Forming Process: Part B. *Materials and Manufacturing Processes*. 2014;29(4):454–60.
6. ARAGHI, B.T.; GÖTTMANN, A.; BERGWELER, G.; SAEED-AKBARI, A.; BÜLTMANN, J.; ZETTLER, J.; BAMBACH, M.; HIRT, G. Investigation on Incremental Sheet Forming Combined with Laser Heating and Stretch Forming for the Production of Lightweight Structures. *Key Engineering Materials*. Aedermannsdorf; 2011;473:919–28.

7. DUFLOU, J. R.; VERBERT, J.; BELKASSEM, B.; GU, J.; SOL, H.; HENRARD, C.; HABRAKEN, A. M. Process window enhancement for single point incremental forming through multi-step toolpaths. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*. 2008;57(1):253–6.
8. BHATTACHARYA, A.; MANEESH, K.; REDDY, N. V.; CAO, J. Formability and Surface Finish Studies in Single Point Incremental Forming. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*. 2011;133(December).
9. XU, D.; WU, W.; MALHOTRA, R.; CHEN, J.; LU, B.; CAO, J. Mechanism investigation for the influence of tool rotation and laser surface texturing (LST) on formability in single point incremental forming. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. Amsterdam: Elsevier; 2013;73:37–46.
10. AMBROGIO, G.; FILICE, L.; GAGLIARDI, F. Formability of lightweight alloys by hot incremental sheet forming. *Materials and Design* [Internet]. Elsevier Ltd; 2012;34:501–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2011.08.024>
11. AL-GHAMDI, K. A.; HUSSAIN, G. Threshold tool-radius condition maximizing the formability in SPIF considering a variety of materials: Experimental and FE investigations. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. Amsterdam: Elsevier; 2015;88:82–94.
12. ARRUDA, R. P. Estampagem Incremental na Conformação de Chapas para Fabricação de Coletores Solares Planos. 96 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

A INFLUÊNCIA DE SISTEMAS DE VEDAÇÕES VERTICAIS EXTERNOS – ELEMENTO CONSTITUINTE DA ENVOLTÓRIA – NO DESEMPENHO TÉRMICO DAS EDIFICAÇÕES

Bueno, G. M.¹
González, M. A. S.²

¹ *Mestrando, Guilherme Manfredini Bueno, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (PPGEC), guilherme-m-b@hotmail.com.*

² *Doutor, Marco Aurélio Stumpf González, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (PPGEC), mgonzalez@unisinis.br.*

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

Resumo

Os problemas ambientais foram determinantes para que os projetistas buscassem soluções construtivas mais sustentáveis e com um melhor desempenho. Além da alta contribuição com as emissões de CO₂, o setor da construção civil também vem contribuindo com as alterações climáticas. Dentre os requisitos de desempenho exigido pela Norma de Desempenho das Edificações – NBR 15575:2013 – encontra-se o desempenho térmico, que envolve os critérios de habitabilidade. A envoltória das edificações tem sido de grande importância na determinação do desempenho térmico dos ambientes internos, principalmente devido ao impacto do aquecimento global. Assim, existe uma necessidade de fornecer aos sistemas de vedação vertical externos um melhor isolamento térmico para os novos edifícios que venham a ser projetados. O foco da pesquisa é abordar, através de uma revisão da literatura técnica, sobre aspectos de desempenho térmico dos sistemas de vedação vertical externa. Estudos apontam que uma envoltória mais eficiente pode reduzir os gastos com energia, como que é caso da utilização de materiais de mudança de fase (PCM), o que pode fazer com que a edificação seja mais eficiente energeticamente.

Palavras-chave: desempenho térmico; envoltória; sistema de vedação vertical externo; materiais de mudança de fase.

THE INFLUENCE OF EXTERNAL WALLS - CONSTITUENT ELEMENT OF THE ENVELOPE - IN THE THERMAL PERFORMANCE OF BUILDINGS

Abstract

Environmental problems were crucial for designers to seek constructive solutions that were more sustainable and better performing. In addition to the high contribution to CO₂ emissions, the construction industry has also been contributing to climate change. Among the performance requirements required by the Building Performance Standard - NBR 15575:2013 - is the thermal performance, which involves the habitability requirements. The envelope of buildings has been of considerable importance in determining the thermal performance of indoor environments, mainly due to the impact of global warming. Thus, there is a need to provide the external walls systems with better thermal insulation for the new buildings that are to be designed. The focus of the research is to approach, through a review of the technical

literature, on thermal performance aspects of external walls systems. Studies indicate that a more efficient envelope can reduce energy costs, such as the use of phase change materials (PCM), which can make the building more energy efficient.

Key words: thermal performance; envelope; external walls systems; phase change materials.

1 INTRODUÇÃO

Os edifícios são responsáveis pelo consumo de cerca de 30%-40% do total de energia primária consumida mundialmente (FUMO; BISWAS, 2015⁽¹⁾; ZHOU et al., 2018⁽²⁾) sendo também o setor responsável por mais de 30% das emissões de CO₂ (YANG; YAN; LAM, 2014⁽³⁾). O consumo de energia tende a aumentar rapidamente nos próximos anos, devido ao rápido desenvolvimento do setor da construção (YU et al., 2018⁽⁴⁾).

A rápida urbanização das cidades gerou grandes impactos sociais, ambientais e econômicos. Além da falta de planejamento das obras nota-se o surgimento de sistemas construtivos inovadores e a busca por obras com maior rapidez de execução, resultando em edificações com desempenho insatisfatório (ALENCASTRO; FUERTES; WILDE, 2018⁽⁵⁾). Sendo assim, é necessário implementar sistemas que solucionem ou reduzam esses impactos, visando um equilíbrio entre sustentabilidade ambiental e realização de atividades socioeconômicas (VIEIRA; FLEISCHFRESSER; PRUDENTE, 2016⁽⁶⁾).

A implantação da NBR 15575 (ABNT, 2013a)⁽⁷⁾, também conhecida como Norma de Desempenho, publicada em julho de 2013 faz exigências para os critérios de segurança, sustentabilidade e habitabilidade. Dentre os requisitos exigidos pela Norma de Desempenho encontra-se o desempenho térmico. Stazi (2018)⁽⁸⁾ menciona que o desempenho térmico é fortemente influenciado pela eficiência da envoltória de uma edificação. Desta forma, para a concepção de edifícios com maior eficiência energética é essencial conhecer as características dos elementos que constituem a envoltória externa, incluindo paredes, esquadrias e cobertura.

De acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005)⁽⁹⁾, o indivíduo está termicamente confortável quando sente uma satisfação psicofisiológica com as condições do ambiente. Desta forma, o ser humano precisa de um ambiente térmico adequado para poder habitar e exercer as suas atividades, por isso é relevante avaliar aspectos relacionados ao conforto térmico (LAMBERTS et al., 2016)⁽¹⁰⁾. Características da envoltória, ventilação natural, ocupação, atividades realizadas no interior e sombreamento são os principais fatores que influenciam o conforto térmico das edificações (CAPELUTO; OCHOA, 2016)⁽¹¹⁾.

Uma das consequências pela busca do conforto térmico é o maior gasto de energia em edificações pela utilização de condicionamento artificial. Dados do Relatório 01/2015 do Ministério de Minas e Energia mostram que, no Brasil, ocorreu uma mudança significativa no perfil de consumo de energia na última década (MME, 2015)⁽¹²⁾. Grande parte das edificações acabam necessitando de energia elétrica para promover o conforto do ambiente construído, o que poderia ser solucionado ainda na fase de projeto, ampliando o desempenho térmico e, considerando os avanços que ocorreram nas áreas da arquitetura bioclimática, materiais e técnicas

construtivas, contribuindo com o meio ambiente (CAMPOS et al., 2012⁽¹³⁾; LAMBERTS et al., 2014⁽¹⁴⁾).

Bostancioglu e Telatar (2013)⁽¹⁵⁾ mencionam que o setor de construção consome a maior quantidade de energia durante a fase de utilização do edifício para fins de aquecimento e refrigeração. Assim, é importante projetar o edifício de tal forma que o consumo de energia durante a fase operacional possa ser mantido em um nível mínimo (JAMALUDIN et al., 2014)⁽¹⁶⁾.

Estratégias passivas devem ser adotadas para melhorar o conforto térmico e a eficiência energética das edificações. É possível consultar a NBR 15220 (ABNT, 2005)⁽⁹⁾ para analisar as diretrizes construtivas para cada uma das oito zonas bioclimáticas brasileiras, as quais incluem recomendações relacionadas a aberturas, sistemas de vedação vertical e coberturas e também algumas estratégias de condicionamento térmico passivo.

A principal técnica passiva usada para reduzir a dependência do condicionamento artificial é através do isolamento térmico em telhados e sistemas de vedação vertical externos (SVVE). Diante do exposto, este artigo tem por objetivo apresentar como os SVVE, elementos constituintes da envoltória das edificações, impactam no desempenho térmico.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O método utilizado para o desenvolvimento deste estudo foi a busca de trabalhos na literatura técnica relacionados com o tema em análise, incluindo periódicos nacionais e internacionais, dissertações de mestrado, livros e congressos.

Para busca de referências, foi consultada, principalmente, a base de dados Science Direct devido à sua relevância perante o meio acadêmico. Escolheu-se os termos “*thermal performance of buildings*”, “*building envelope*”, “*external walls systems*” e “*phase change materials*” para fazer uma busca nos artigos em que continham essas palavras em seus títulos. As demais referências foram encontradas utilizando o Google Acadêmico.

A partir da seleção de trabalhos relacionados ao tema, foi desenvolvida uma revisão bibliográfica com o propósito de analisar a influência que os sistemas de vedação vertical externos (SVVE) exercem no desempenho térmico das edificações.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O desempenho térmico de uma edificação consiste na sua capacidade de manter os usuários termicamente confortáveis (ABNT, 2013a⁽⁷⁾; LAMBERTS; TRIANA, 2007⁽¹⁷⁾; OMRANI et al., 2017⁽¹⁸⁾). Cada indivíduo tem a sua percepção de satisfação térmica dependendo do ambiente em que está inserido (ABNT, 2005⁽⁹⁾; ASHRAE, 2017⁽¹⁹⁾).

Nos últimos anos a obtenção de altos níveis de desempenho térmico tornou-se uma prioridade. Assim, é importante projetar as novas edificações de tal forma que o consumo de energia durante a fase operacional possa ser mantido em um nível mínimo, sem comprometer o desempenho (JAMALUDIN et al., 2014)⁽¹⁶⁾.

Os edifícios modernos tem menor capacidade para manter o conforto térmico dos usuários sem condicionadores artificiais. A técnica passiva usada para reduzir a necessidade do condicionador artificial é principalmente através da aplicação de isolamento térmico na envoltória da edificação (RAUT; GOMEZ, 2018)⁽²⁰⁾.

O desempenho térmico da envoltória do edifício é considerado como um fator importante para alcançar o conforto térmico e reduzir a perda ou ganho de calor indesejado (YU et al., 2018)⁽⁴⁾. As paredes constituem a interface entre o interior do edifício e o ambiente externo, apresentando um efeito significativo no desempenho da envoltória (BALARAS et al., 2000⁽²¹⁾; PACHECO-TORGAL et al., 2015⁽²²⁾).

3.1 Envoltória das edificações

A envoltória de uma edificação é o que separa os ambientes internos e externos. É o fator chave que determina a qualidade e controla as condições internas, independentemente das condições externas transitórias. Vários componentes, tais como paredes, cobertura, fundação, isolamento térmico, massa térmica, dispositivos externos de sombreamento, entre outros, compõem essa parte importante de qualquer edifício (SADINENI; MADALA; BOEHM, 2011)⁽²³⁾.

As cargas de aquecimento e resfriamento de uma edificação são atribuídas principalmente pela transferência de calor através da envoltória e, portanto, é importante selecionar a melhor alternativa levando em consideração as condicionantes de cada projeto para alcançar eficiência energética mantendo o desempenho térmico (STAZI, 2018)⁽⁸⁾.

O isolamento térmico é a solução mais empregada para melhorar o desempenho térmico da envoltória da construção. Meios convencionais incluem o uso de materiais com alta resistência térmica (MAZO et al., 2012⁽²⁴⁾; ADITYA et al., 2017⁽²⁵⁾) ou aumentar a espessura da camada de isolamento (BRAULIO-GONZALO; BOVEA, 2017⁽²⁶⁾; EKICI; GULTEN; AKSOY, 2012⁽²⁷⁾). Outras alternativas, como o uso de sistemas de sombreamento em fachadas, o posicionamento do prédio no terreno e orientação solar, também podem ser utilizadas para melhorar a eficiência energética das edificações (WASCHEVICZ, 2016⁽²⁸⁾).

Vários autores mencionam que houve um aumento no consumo de sistemas de ar condicionado (LIN; DENG, 2004⁽²⁹⁾; AL-SANEA; ZEDAN, 2011⁽³⁰⁾; KHARSEH; ALTORKMANY, 2012⁽³¹⁾; FRIESS; RAKHSHAN, 2017⁽³²⁾), evidenciando a importância da envoltória no projeto de edifícios, a qual deve considerar o clima específico, assim como as condições ambientais internas a fim de melhorar os níveis de conforto.

No entanto, a melhor identificação de soluções ainda é um assunto em discussão. Muitos autores já mostraram que diferentes configurações de isolamento térmico têm efeitos desiguais e muitas vezes opostos nos vários aspectos incluindo eficiência energética (ASTE; ANGELOTTI; BUZZETTI, 2009)⁽³³⁾, conforto (CHENG; NG; GIVONI, 2005)⁽³⁴⁾, impacto ambiental e custos (KUMBAROGLU; MADLENER, 2012)⁽³⁵⁾. Assim, a envoltória mais apropriada poderia ser: com isolamento interno, em estudos para climas frios ou apenas focado no desempenho no inverno (TSILINGIRIS, 2006)⁽³⁶⁾; com massa interna e isolamento externo, em estudos voltados para o desempenho no verão (AL-SANEA; ZEDAN, 2012)⁽³⁷⁾; com isolamento colocado em ambos os lados da parede (KONTOLEON; BIKAS, 2007)⁽³⁸⁾ ou uma solução leve, em estudos sobre o ciclo de vida e avaliação econômica (PAJCHROWSKI et al., 2014)⁽³⁹⁾. Muito raramente, os estudos abordam a avaliação simultânea multidisciplinar dos diferentes aspectos.

3.2 Sistemas de vedações verticais (SVV)

Os sistemas de vedações verticais (SVV) de alvenaria, popularmente conhecidos como paredes de alvenaria são predominantes nas construções. Atualmente, é exigido que os tijolos e blocos sejam produzidos sob controles de qualidade. Além disso, as edificações executadas com blocos podem ser

racionalizadas, em função das decisões levadas em consideração no projeto, o que evita a geração de resíduos e aumenta a produtividade.

Os SVV devem ser projetados para fornecer desempenho estrutural, estanqueidade, resistência ao fogo, durabilidade, isolamento acústico e isolamento térmico. Além disso, também é fundamental que o sistema apresente eficiência energética.

As paredes de alvenaria são capazes de satisfazer esses requisitos de desempenho de maneira econômica e eficaz, através da ampla variedade de sistemas e estratégias de isolamento disponíveis. Cada projeto de SVV tem diferentes vantagens e limitações em relação a cada um dos requisitos de projeto. A influência combinada das capacidades de armazenamento de calor e as características de resistência térmica dos conjuntos de paredes de alvenaria regulam as condições internas (TAVIL, 2004)⁽⁴⁰⁾.

O desempenho térmico de paredes de alvenaria depende do valor da transmitância térmica (U) da parede, bem como das características de massa térmica da parede. A NBR 15220 (ABNT, 2005)⁽⁹⁾ define transmitância térmica como o inverso da resistência térmica total. A resistência térmica total consiste no somatório do conjunto de resistências térmicas correspondentes às camadas de um elemento ou componente, incluindo as resistências superficiais interna e externa. Já a capacidade térmica é definida como a quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema.

A NBR 15575-4 (ABNT, 2013b)⁽⁴¹⁾ estabelece limites para a transmitância térmica (Tabela 1) de paredes utilizadas como vedação externa (envoltória), bem como valores mínimos para a capacidade térmica (Tabela 2) a partir das zonas bioclimáticas em que a edificação se encontra. É possível consultar na NBR 15220 (ABNT, 2005)⁽⁹⁾ o método para calcular a transmitância e a capacidade térmica.

Tabela 1. Transmitância térmica U (W/m².K).

Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
U ≤ 2,5	α ^a ≤ 0,6	α ^a > 0,6
	U ≤ 3,7	U ≤ 2,5

α^a é absortância à radiação solar da superfície externa da parede

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013b)⁽⁴¹⁾.

Tabela 2. Capacidade térmica (CT) KJ/m².K.

Zonas 1,2, 3, 4, 5, 6 e 7	Zona 8
≥ 130	Sem exigência

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013b)⁽⁴¹⁾.

Paredes com maior inércia térmica diminuem a resposta do edifício às mudanças nas condições externas e limitam as oscilações da temperatura interna (KAYNAKLI, 2012)⁽⁴²⁾. Além disso, a massa térmica está relacionada com a capacidade de certos materiais de armazenar calor. Uma parede de alvenaria, por causa de sua alta densidade e calor específico, fornece massa térmica efetiva em um edifício. A massa térmica permite que as paredes de alvenaria permaneçam quentes ou frias por muito tempo após o sistema de aquecimento ou ar condicionado ter sido desligado (REILLY; KINNANE, 2017)⁽⁴³⁾. A eficácia da massa térmica varia

com fatores como clima, projeto de construção, sistema de construção e também estratégias de isolamento (GORI et al., 2017)⁽⁴⁴⁾.

Uma parede com alta capacidade térmica no lado interno, com camada de isolamento no lado externo é a melhor solução já que o isolamento externo proporciona a redução da perda de calor, enquanto a camada maciça interna interage dinamicamente com o interior. No entanto, essa escolha por si só não poderia garantir níveis adequados de conforto, uma vez que os isolamentos muito espessos colocados atrás da massa impedem o fluxo de saída de calor impedindo seu resfriamento noturno e interferindo em seu comportamento dinâmico. Por isso, devem ser identificadas soluções mistas que, usando uma resistência térmica considerável (para o inverno), permitem uma interação das camadas massivas com os ambientes interno e externo que variam de acordo com as necessidades (STAZI et al., 2015)⁽⁴⁵⁾.

O desenvolvimento de novas técnicas de armazenamento de energia atualmente domina a tendência de pesquisa para edifícios sustentáveis. Materiais inovadores, como o caso dos Materiais de Mudança de Fase (*Phase Change Materials* - PCM), podem acumular energia de calor latente além da capacidade dos materiais de construção comuns, permitindo armazenar significativamente mais energia. Aplicações PCM em componentes da envoltória do edifício podem reduzir potencialmente o consumo de energia de sistemas ativos de aquecimento e resfriamento (VICENTE; SILVA, 2014)⁽⁴⁶⁾.

Conforme Costa (2014)⁽⁴⁷⁾, a energia térmica pode ser armazenada através de aquecimento ou arrefecimento de uma substância (armazenamento de calor sensível) ou por meio do processo de mudança de fase (armazenamento de calor latente).

Segundo Cunha et al. (2012)⁽⁴⁸⁾, no armazenamento de energia por calor latente, utiliza-se o PCM que absorve e armazena energia térmica do ambiente, quando este está em processo de transição do estado sólido para líquido, o que ocorre somente no instante em que a temperatura em seu entorno é maior que o ponto de fusão do material (Figura 1a). Posteriormente, o PCM libera a energia anteriormente armazenada quando transita do estado líquido para o estado sólido, ou seja, quando a temperatura em seu entorno é inferior ao ponto de solidificação do PCM.

Um esquema sobre o processo de armazenamento de energia dos materiais de mudança de fase pode ser visto na Figura 1.

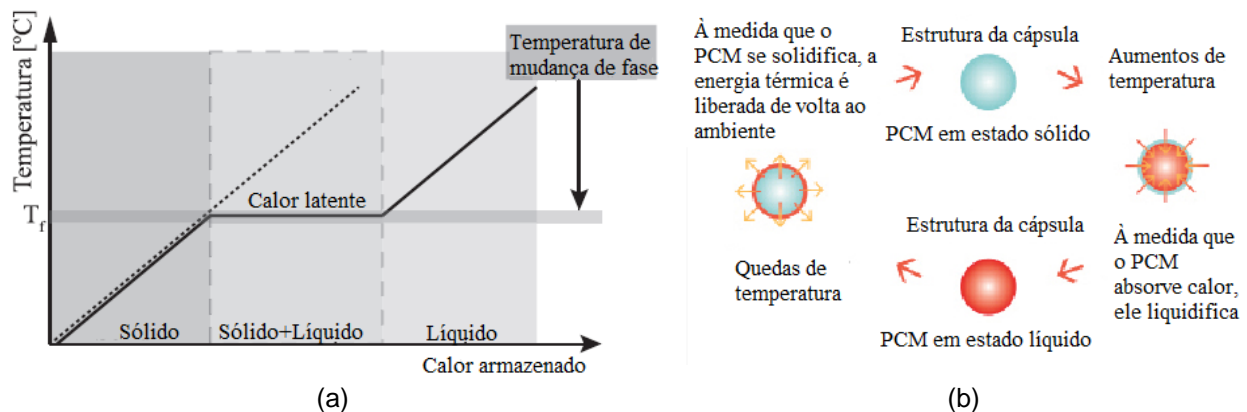


Figura 1. Energia no PCM: (a) armazenamento de calor latente (Vicente; Silva, 2014)⁽⁴⁶⁾ e (b) processo de mudança de fase (*Homebuilding&Renovating* (2018)⁽⁴⁹⁾.

A maior vantagem dos PCMs é que eles podem armazenar até 18 vezes mais energia do que os materiais de construção tradicionais através da sua capacidade de calor latente (ZHU; MA; WANG, 2009)⁽⁵⁰⁾. Vicente e Silva (2014)⁽⁴⁶⁾ avaliaram experimentalmente o desempenho térmico de SVV com o uso de PCM. O estudo inclui 3 sistemas: (1) SVV referência; (2) SVV com PCM e (3) SVV com PCM e revestido com material isolante, conforme representado na Figura 2. O material isolante da amostra (3) consiste em placas de poliestireno com baixa condutividade térmica, com 10,0 mm de espessura e aplicado na superfície voltada para o ambiente externo.

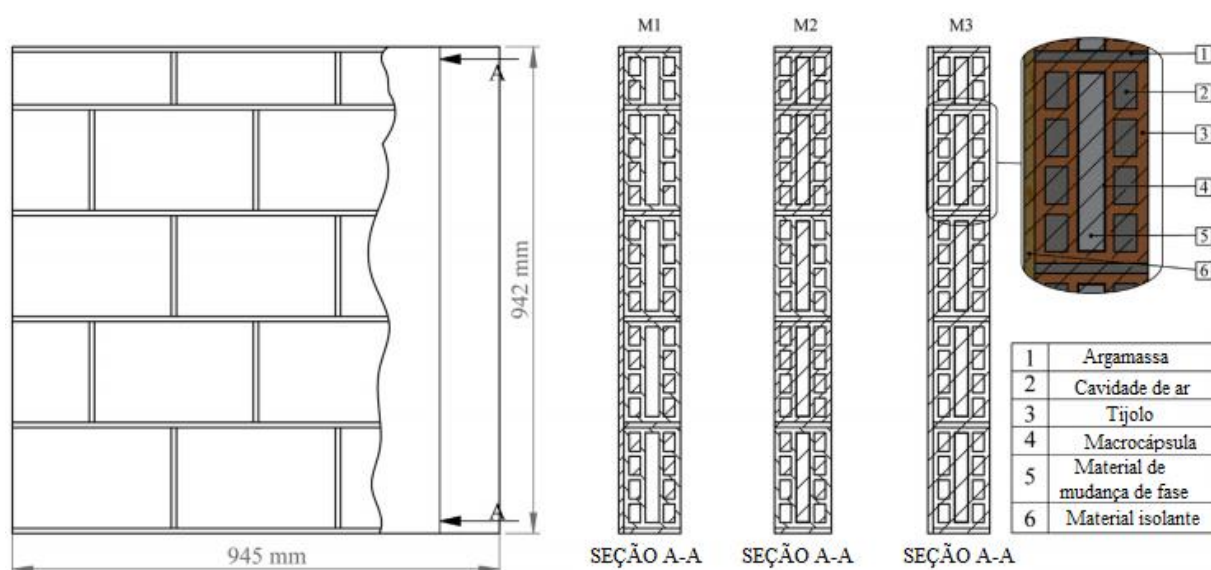


Figura 2. Geometria e composição dos sistemas analisados (Vicente; Silva, 2014)⁽⁴⁶⁾.

O material de mudança de fase (PCM) utilizado foi a parafina. Macrocapsulas de aço foram preenchidas com um tubo de plástico contendo a parafina no estado líquido. A Figura 3 mostra a aplicação do PCM em um dos tijolos utilizados na construção da amostra.



Figura 3. Preenchimento do tijolo com material de mudança de fase e amostra de parede (Vicente; Silva, 2014)⁽⁴⁶⁾.

As amostras foram posicionadas entre duas câmaras climáticas, uma para condições de temperatura induzida e outra em modo de temperatura ambiente. O

teste teve duração de 8 dias, seguindo as recomendações da ISO 13790 (ISO, 2008)⁽⁵¹⁾. As temperaturas na câmara 1 eram típicas, baseadas em dados climáticos de Portugal, e a umidade se manteve constante a 50%, simulando o ambiente externo. As medições foram realizadas com registradores automáticos de temperatura (*dataloggers*) e termopares.

Os resultados do estudo indicaram que materiais de mudança de fase (PCM) são uma alternativa com alto potencial para melhorar o desempenho térmico e a eficiência energética das edificações. Conforme mostrado na Figura 4, é perceptível que o sistema M3 com PCM e isolamento sofreu as menores amplitudes térmicas e sua temperatura manteve-se praticamente constante a 20°C.

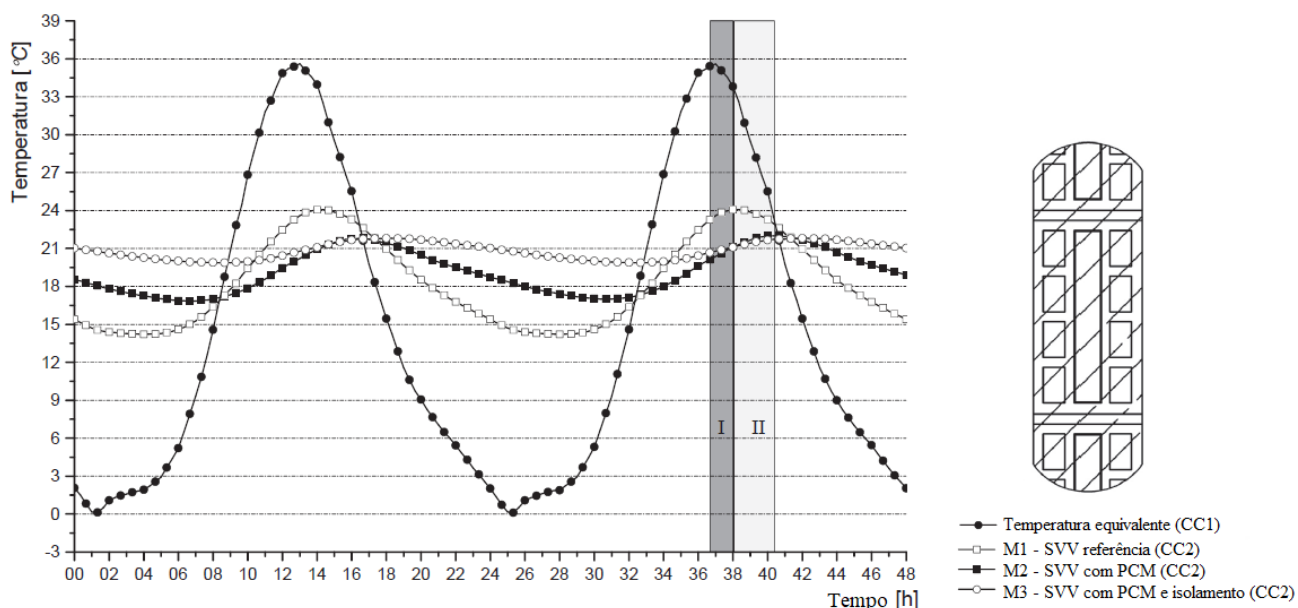


Figura 4. Temperaturas obtidas no interior da câmara climática 2 (CC2) (Vicente; Silva, 2014)⁽⁴⁶⁾.

A Tabela 3 mostra a diferença entre as três amostras. A comparação de temperatura máxima entre as amostras com PCM é semelhante, portanto, comparando com a amostra M1, a diferença é de 2°C. A amostra sem PCM apresentou temperatura mínima de 14°C e esta temperatura é bastante inferior ao intervalo de conforto térmico, que conforme a BS EN 1525 (BSI, 2007)⁽⁵²⁾ está na faixa de 20°C à 25°C. No entanto, as amostras com PCM (M2 e M3) apresentaram temperatura mínima de 17 °C e 20 °C, respectivamente, mais próximas da faixa de conforto térmico.

Tabela 3. Variações de temperatura para os três sistemas testados.

	CC1	CC2		
		M1	M2	M3
Temperatura máxima (°C)	35,6	24,07	22,01	21,8
Temperatura mínima (°C)	0,1	14,22	17	19,87
Amplitude térmica (°C)	35,5	9,85	5,01	1,93

Fonte: Adaptado de Vicente; Silva (2014).

4 CONCLUSÃO

Uma avaliação da influência da envoltória no desempenho térmico de edificações foi realizada através de uma revisão da literatura. Com base no exposto pela bibliografia citada, os SVVE são sistemas constituintes da envoltória que atuam no controle das trocas de calor entre os ambientes exterior e interior. Para que a edificação mantenha sua eficiência energética, o controle da temperatura para manter os usuários termicamente confortáveis pode ser alcançado adotando-se estratégias passivas, as quais não prejudicam o desempenho da edificação.

Várias são as alternativas disponíveis, entretanto, é papel do projetista avaliar qual é a solução que mais se adapta para o projeto, levando em consideração o local da construção, as variações climáticas, posição solar, entre outros. A adoção das melhores estratégias, ainda na fase de projeto irá fazer com que a edificação apresenta melhores níveis de desempenho. Além do desempenho térmico, é importante levar em consideração os vários aspectos de desempenho, que incluem a segurança estrutural, contra incêndio, desempenho acústico, entre outros.

Neste artigo, foi apresentado uma investigação realizada com materiais de mudança de fase (PCM) incorporados no SVV. Foi constatado que estes diminuem as trocas de calor entre o ambiente interno com o ambiente externo. Além disso, a utilização combinada de PCM com material isolante na face externa do SVV apresentou os melhores resultados, com as menores variações de temperaturas, indicando um melhor desempenho.

Os resultados obtidos na literatura indicam a necessidade de projetos com diferentes soluções para o alcance do desempenho térmico dos edifícios, que deve levar em consideração, por exemplo, o local em que a edificação será construída e o clima, para se pensar nas estratégias do projeto. Os resultados do estudo servem como base para o desenvolvimento de projetos, execução e operação de edifícios energeticamente eficientes.

REFERÊNCIAS

- 1 FUMO, N.; BISWAS, M. R. Regression analysis for prediction of residential energy consumption. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 47, p. 332-343, 2015.
- 2 ZHOU, Z.; WANG, C.; SUN, X.; GAO, F.; FENG, W.; ZILLANTE, G. Heating energy saving potential from building envelope design and operation optimization in residential buildings: A case study in northern China. *Journal of Cleaner Production*, v. 174, p. 413-423, 2018.
- 3 YANG, L.; YAN, H.; LAM, J. C. Thermal comfort and building energy consumption implications – A review. *Applied Energy*, v. 115, p. 164–173, 2014.
- 4 YU, J.; YE, H.; XU, X.; HUANG, J.; LIU, Y.; WANG, J. Experimental study on the thermal performance of a hollow block ventilation wall. *Renewable Energy*, v. 122, p. 619-631, 2018.
- 5 ALENCASTRO, J.; FUERTES, A.; WILDE, P. The relationship between quality defects and the thermal performance of buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 81, p. 883-894, 2018.
- 6 VIEIRA, T. J.; FLEISCHFRESSER, L.; PRUDENTE, L. A. Mudanças climáticas: comparação da variação de temperatura interna de um ambiente revestido com telhado verde e um com telhado convencional. XIV ENEEAmb, II Fórum Latino e I SBEA – Centro-Oeste, 2016.

- 7 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15575: Edificações Habitacionais — Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, Brasil, 2013a.
- 8 STAZI, F. Thermal Inertia in Energy Efficient Building Envelopes. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2018.
- 9 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15220: Desempenho térmico de edificações: Partes 1-4. Rio de Janeiro, Brasil, 2005.
- 10 LAMBERTS, R. et al. Desempenho térmico de edificações. Notas de Aula da disciplina: ECV 5161. LabEEE (Laboratório de Eficiência Energética em Edificações). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016. Disponível em: <http://www.labeeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ApostilaECV5161_v2016.pdf>. Acesso em 03 de abril de 2017.
- 11 CAPELUTO, G.; OCHOA, C. E. Intelligent Envelopes for High-Performance Buildings: Design and Strategy. Springer. 1 ed., Cham, Switzerland, 134 p., 2016.
- 12 MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). NOTA TÉCNICA DEA 01/15. Estimativa da capacidade instalada de geração distribuída no SIN: aplicações no horário de ponta. Rio de Janeiro, 2015.
- 13 CAMPOS, N. L. F.; NOGUEIRA, M. C. J. A.; LAMBERT, J. A.; DURANTE, L. C. Avaliação de desempenho térmico de edificação pública em cuiabá, MT: estudo de caso. Monografias ambientais – Remoa. Universidade Federal de Santa Maria. v(7), nº 7, p. 1670 – 1688, MAR-JUN, 2012.
- 14 LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. Eficiência Energética na Arquitetura. 3. Ed., PW Editores, 2014.
- 15 BOSTANCIOGLU, E.; TELATAR, B. Effect of window size on residential buildings' energy costs. World Applied Sciences Journal, v. 21 (4), p. 631–640, 2013.
- 16 JAMALUDIN, A. A.; KEUMALA, N.; ARIFFIN, A.R.M.; HUSSEIN, H. Satisfaction and perception of residents towards bioclimatic design strategies: residential college buildings. Indoor and Built Environment, v. 23 (7), p. 933–945, 2014.
- 17 LAMBERTS, R.; TRIANA, M. A. Levantamento do estado da arte: energia. Projeto: Tecnologias para construção habitacional mais sustentável. Relatório Projeto Finep. São Paulo, 2007.
- 18 OMRANI S. et al. Effect of natural ventilation mode on thermal comfort and ventilation performance: full-scale measurement. Energy and Buildings, v.156, p. 1-16, 2017.
- 19 AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). 2017 ASHRAE Handbook – Fundamentals. USA, 2017.
- 20 RAUT, A. N.; GOMEZ, C. P. Assessment of thermal and energy performance of thermally efficient sustainable wall system for Malaysian low cost housing. Applied Thermal Engineering, v. 136, p. 309–318, 2018.
- 21 BALARAS, C. A.; DROUTSA, K.; ARGIRIOU, A. A.; ASIMAKOPOULOS, D. N. Potential for energy conservation in apartment buildings. Energy and Buildings, v. 31, p. 143-154, 2000.
- 22 PACHECO-TORGAL, F.; LOURENÇO, P. B.; LABRINCHA, J. A.; KUMAR, S.; CHINDAPRASIRT, P. Eco-Efficient Masonry Bricks and Blocks: Design, Properties and Durability. Amsterdam: Woodhead Publishing, 2015.
- 23 SADINENI, S. B.; MADALA, S.; BOEHM, R. F. Passive building energy savings: A review of building envelope components. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 15, p. 3617–3631, 2011.

- 24 MAZO, J.; DELGADO, M.; MARIN, J. M.; ZALBA, B. Modeling a radiant floor system with Phase Change Material (PCM) integrated into a building simulation tool: analysis of a case study of a floor heating system coupled to a heat pump. *Energy and Buildings*, v. 47, p. 458-466, 2012.
- 25 ADITYA, L.; MAHLIA, T. M. I.; RISMANCHI, B.; NG, H. M.; ADITIYA, H. B. A review on insulation materials for energy conservation in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 73, p. 1352-1365, 2017.
- 26 BRAULIO-GONZALO, M.; BOVEA, M. D. Environmental and cost performance of building's envelope insulation materials to reduce energy demand: thickness optimization. *Energy and Buildings*, v.150, p. 527-545, 2017.
- 27 EKICI, B. B.; GULTEN, A. A.; AKSOY, U. T. A study on the optimum insulation thicknesses of various types of external walls with respect to different materials, fuels and climate zones in Turkey. *Applied Energy*, v. 92, p. 211-217, 2012.
- 28 WASCHEVICZ, J. D. Avaliação da eficiência energética da envoltória e de diferentes tipos de sistemas de condicionamento de ar em edificação vertical comercial em Porto Alegre/RS. São Leopoldo, 95p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2016.
- 29 LIN, Z. P.; DENG, S. M. A study on the characteristics of nighttime bedroom cooling load in tropics and subtropics. *Building and Environment*, v. 39, p. 1101-1114, 2004.
- 30 AL-SANEA, S. A.; ZEDAN, M. F. Improving thermal performance of building walls by optimizing insulation layer distribution and thickness for same thermal mass. *Applied Energy*, v. 88, p. 3113–3124, 2011.
- 31 KHARSEH, M.; ALTORKMANY, L. How global warming and building envelope will change buildings energy use in central Europe. *Applied Energy*, v. 97, p. 999-1004, 2012.
- 32 FRIESS, W. A.; RAKHSHAN, K. A review of passive envelope measures for improved building energy efficiency in the UAE. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 72, p. 485–496, 2017.
- 33 ASTE, N.; ANGELOTTI, A.; BUZZETTI, M. The influence of external walls thermal mass. *Energy and Buildings*, v. 41, p. 1181-1187, 2009.
- 34 CHENG, V.; NG, E.; GIVONI, B. Effect of envelope color and thermal mass on indoor temperatures in hot humid climate. *Solar Energy*, v. 78, p. 528-534, 2005.
- 35 KUMBAROGLU, G.; MADLENER, R. Evaluation of economically optimal retrofit investment options for energy saving in buildings. *Energy and Buildings*, v. 49, p. 327-334, 2012.
- 36 TSILINGIRIS, P. T. Wall heat loss from intermittently conditioned spaces – the dynamic influence of structural and operational parameters. *Energy and Buildings*, v. 38, p. 1022-1031, 2006.
- 37 AL-SANEA, S. A.; ZEDAN, M. F. Effect of thermal mass on performance of insulated building walls and the concept of energy savings potential. *Applied Energy*, v. 89, p. 430-442, 2012.
- 38 KONTOLEON, K. J.; BIKAS, D. K. The effect of south wall's outdoor absorption coefficient on time lag, decrement factor and temperature variations. *Energy and Buildings*, v. 39, p. 1011-1018, 2007.
- 39 PAJCHROWSKI, G.; NOSKOWIAK, A.; LEWANDOWSKA, A.; STRYKOWSKI, W. Materials composition or energy characteristic. What is more important in environmental life cycle of buildings? *Building and Environment*, v. 72, p. 15-27, 2014.

- 40 TAVIL, A. Thermal behavior of masonry walls in Istanbul. *Construction and Building Materials*, v. 18, p. 111–118, 2004.
- 41 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15575: Edificações Habitacionais — Desempenho. Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro, Brasil, 2013.
- 42 KAYNAKLI, O. A review of the economical and optimum thermal insulation thickness for building applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 16, p. 415–425, 2012.
- 43 REILLY, A.; KINNANE, O. The impact of thermal mass on building energy consumption. *Applied Energy*, v. 198, p.108-121, 2017.
- 44 GORI, V.; MARINCIONI, V.; BIDDULPH, P.; ELWELL, C. A. Inferring the thermal resistance and effective thermal mass distribution of a wall from in situ measurements to characterise heat transfer at both the interior and exterior surfaces. *Energy and Buildings*, v. 135, p. 398-409, 2017.
- 45 STAZI, F.; BONFIGLI, C.; TOMASSONI, E.; DI PERNA, C. MUNAFO, P. The effect of high thermal insulation on high thermal mass: is the dynamic behavior of traditional envelopes in Mediterranean climates still possible? *Energy and Buildings*, v.88, p. 367-383, 2015.
- 46 VICENTE, R.; SILVA, T. Brick masonry walls with PCM macrocapsules: An experimental approach. *Applied Thermal Engineering*, v. 67, p. 24-34, 2014.
- 47 COSTA, S. P. L. Armazenamento de energia térmica através de materiais de mudança de fase. Dissertação de mestrado. Faculdade de engenharia da Universidade do Porto (FEUP), Porto, Portugal, 2014.
- 48 CUNHA, S.; AGUIAR, J. B.; MARTINS, V.; FERREIRA, V. M.; TADEU, A. Influência da adição de microcápsulas de PCM em argamassas de cal aérea. Congresso Construção 2012. Coimbra, Portugal, 2012.
- 49 HOMEBUILDING&RENOVATING. Phase Change Materials. 2018 Disponível em: < <https://www.homebuilding.co.uk/phase-change-materials/>> Acesso em 16 de jul 2018.
- 50 ZHU, N.; MA, Z.; WANG, S. Dynamic characteristics and energy performance of buildings using phase change materials: a review. *Energy Conversion and Management*, v.50, p. 3169-3181, 2009.
- 51 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 13790: Energy performance of buildings e calculation of energy use for space heating and cooling, European Committee for Standardization, 2008.
- 52 BRITISH STANDARDS INSTITUTION (BSI). BS EN 1525: Indoor Environmental Input Parameters for Design and Assessment of Energy Performance of Buildings Addressing Indoor Air Quality, Thermal Environment, Lighting and Acoustics, 2007.

ADAPTAÇÃO DE MOINHO DE JARROS PARA TAMBOREAMENTO EM ESCALA LABORATORIAL

Compazzi, Marcelo G. D.¹

Fagundes, Enio C.M.²

Calcagno, Carmen I. W.^{3,*}

¹ Graduando em Engenharia Mecânica, Instituto Federal Sul Rio-Grandense – Campus Sapucaia do Sul, marcelocompazzi@yahoo.com.br

² Doutor, Instituto Federal Sul Rio-Grandense – Campus Sapucaia do Sul, eniofagundes@sapucaia.ifsul.edu.br

³ Doutora, Instituto Federal Sul Rio-Grandense – Campus Sapucaia do Sul, carmenalcagno@sapucaia.ifsul.edu.br

Resumo

O tamboreamento é um processo de acabamento de superfícies em massa cuja finalidade pode ser polimento, limpeza, rebarbação e arredondamento de cantos de diversos tipos de peças. O moinho disponível possui um jarro de 1,2 L que é muito grande para o desenvolvimento de pesquisas em escala laboratorial. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi adaptar um moinho de jarros para ser utilizado como uma bancada de tamboreamento para testes em escala menor. Para tanto, realizou-se uma modificação no moinho para diminuir a distância entre os rolos, possibilitando a utilização de um tambor de tamanho menor, o qual foi projetado para ter a capacidade volumétrica baseada na necessidade do estudo que se queria realizar. Peças de adaptação e os tambores de pequeno volume foram fabricados por manufatura aditiva por deposição de material fundido. A adaptação se mostrou eficiente nos testes realizados e, com isso, pôde-se reduzir a quantidade necessária de massa por teste de 180 g para 2 g, viabilizando testes em escala menor.

Palavras-chave: Tamboreamento; Adaptação de equipamentos; Escala laboratorial.

Abstract

Tumbling is a mass surface finishing whose purpose may be polishing, cleaning, deburring and corner rounding of several types of pieces. The available mill possesses a 1,2 L container which is too big for the development of laboratory-scale researches. In this context, the objective of this paper was to make an adaptation of a ball mill to be utilized in test in lower scale of barrel tumbling process. For this, a modification was made in the mill to reduce the distance between the rollers, allowing the use of a smaller barrel, which was designed to have the volumetric capacity based on the need of the study that was wanted to be performed. Adaptive parts and small volume barrels were made by additive manufacturing by deposition of molten material. The adaptation proved to be efficient in the tests performed and, therefore, the required amount of mass per test of 180 g could be reduced to 2 g, enabling smaller scale tests.

Keywords: Tumbling; Adaptation of equipments; Laboratory-scale.

1. INTRODUÇÃO

O processo de tamboreamento é largamente utilizado para rebarbação e arredondamento de cantos de diversos tipos de peças. Nesse tipo de processo, um tambor gira em torno do seu próprio eixo com elementos moedores (mídias) misturados com as peças a serem acabadas (partes). Por operar com grandes quantidades de massa de partes, esse processo costuma ter baixo custo para um grande número de partes e materiais. Ainda, o tamboreamento é um processo simples de se efetuar e que proporciona resultados com repetibilidade⁽¹⁾.

O tambor é o recipiente carregado com mídias e partes onde ocorrerá o processo que fará com que as partes ganhem o formato desejado. Devido à rotação, a carga é levantada até uma certa altura de onde despenca até a parede do tambor. Assim, o tamboreamento ocorre na chamada zona de intersecção, localizada próxima do meio do tambor, com as mídias rolando sobre as partes⁽²⁾.

O volume de preenchimento da mistura mídia-parte dentro do tambor deve estar próximo a 60% do volume líquido do interior do tambor. Segundo Gillespie, valores acima disso diminuem a probabilidade de contato entre parte e mídia, porém são utilizados para materiais mais pesados⁽¹⁾.

Como resultado das ações internas, as partes interagem de maneira significativa com as mídias somente um terço do tempo do processo, enquanto durante dois terços, elas simplesmente rotacionam em torno das mídias sem haver a ação de escorregamento (*sliding*), que gera o desgaste das partes esperado pelo processo de tamboreamento⁽³⁾. A proporção típica entre mídias e partes para esse tipo de operação é 3:1, o que significa que $\frac{3}{4}$ do volume da mistura é composto de mídias e $\frac{1}{4}$ composto de partes⁽¹⁾.

As máquinas de tamboreamento mais utilizadas na indústria para rebarbação, limpeza e polimento de peças são os tambores horizontais com a câmara em formato hexagonal ou octogonal. Esse tipo de modelo facetado, comparado a modelos cilíndricos, permite um fluxo mais otimizado dentro da máquina, o que diminui o tempo de operação do processo de tamboreamento⁽⁴⁾. Dificilmente tambores com capacidade inferior a 1 L são encontrados no mercado; o jarro disponível tinha capacidade de 1,2 L, o que inviabilizou o estudo que se queria fazer sobre a influência dos parâmetros do tamboreamento sobre o acabamento superficial de particulados cerâmicos (de tamanho inferior a 1 mm de diâmetro), pois requeria 180 g de particulados, que devem passar por diversos processos antes de adquirirem a granulometria desejada, e cerca de 4790 esferas de 6 mm.

Assim, o objetivo deste trabalho foi adaptar uma bancada de tamboreamento para operar em menor escala e possibilitar o desenvolvimento do estudo que se queria realizar sobre as influências dos parâmetros do tamboreamento em pequenos particulados cerâmicos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O moinho original (Figura 1) é um moinho de jarro da marca Solab e possui controles digitais para regulagem da velocidade de rotação, com velocidade máxima de 200 rpm, e para a programação do tempo. É composto de dois rolos emborrachados sobre os quais é posto o jarro que contém o material a ser moído/tamboreado e cuja distância entre eixos é de 181,55 mm; o diâmetro e o comprimento dos rolos são 51,55 mm e 590 mm, respectivamente.

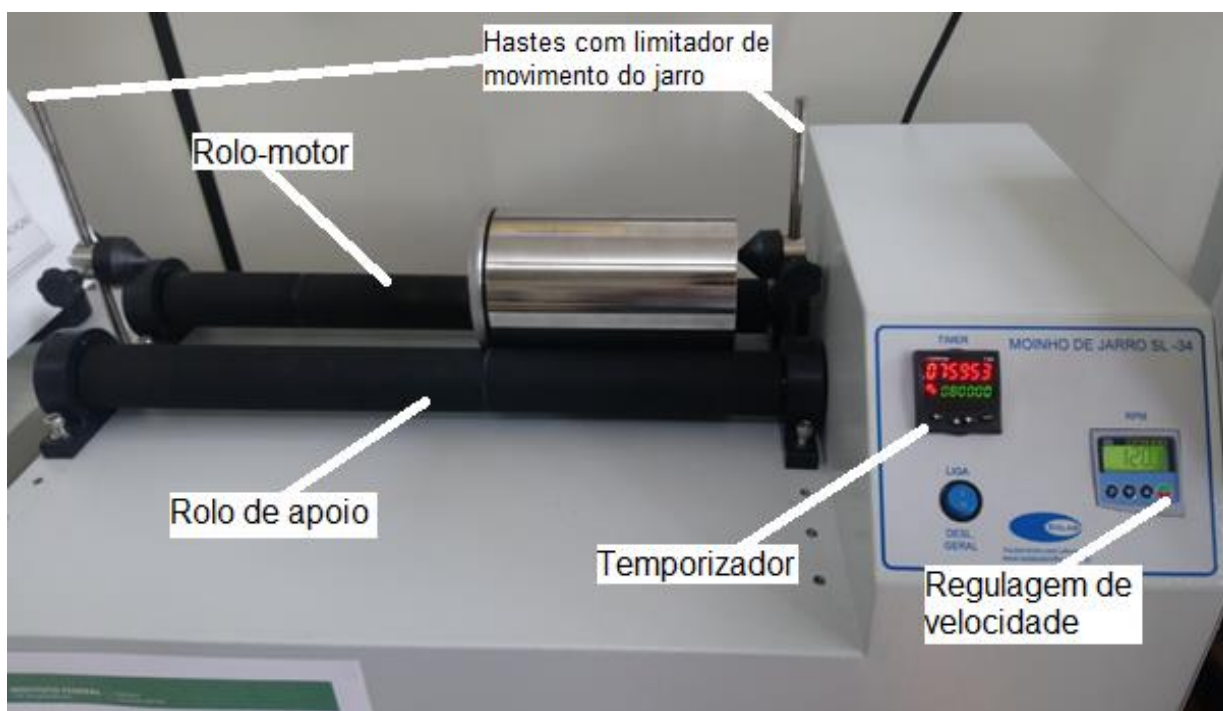


Figura 1. Moinho original com jarro.

Um tambor com volume interno de 13,7 ml foi projetado com software CAD e impresso em PLA. O tambor foi revestido, por dentro e por fora, com uma camada de resina epóxi, garantindo a sua vedação e escolheu-se um tubo metálico de 33,70 mm de diâmetro no qual o tambor foi encaixado, para que não ficasse muito leve e tivesse estabilidade enquanto rotacionasse.

Um tubo metálico para substituir o rolo de apoio foi escolhido. Este foi fixado utilizando-se os cones giratórios colados nas hastes entre os rolos. Suportes para servir de encaixe entre o tubo e os cones foram projetados com software CAD e impressos em PLA.

Com todas as adaptações feitas, foram realizados testes de funcionamento, com os quais se observaram os encaixes do eixo adaptado; a rotação do tambor, que não podia trepidar e se a eficiência da bancada adaptada se mantinha constante até o fim das operações.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Quería-se tamborear particulados cerâmicos de diâmetro inferior a 0,6 mm (30 *mesh*) com um moinho disponível em laboratório, entretanto, este moinho era muito grande para essa finalidade. O moinho original possuía um jarro cilíndrico com diâmetro de 111,80 mm e 194,60 mm de comprimento com capacidade volumétrica de 1,2 L, o que requeria uma quantidade em massa de aproximadamente 180 g de particulados e 4788 esferas de 6 mm para o processo de tamboreamento, que somados representam 60% da capacidade volumétrica do jarro, valor usual para o processo de tamboreamento⁽¹⁾. Com base nisso, projetou-se um tambor para operar em escala laboratorial, reduzindo a quantidade de mídias e partes necessárias; a sua geometria também foi alterada, de cilíndrica (jarro original) para oitavada que é mais frequente para tamboreamento⁽¹⁾. Pela Figura 2, pode-se comparar a diferença de tamanhos entre o jarro original e o tambor para a adaptação:



Figura 2. Comparação de tamanho entre tambor adaptado (E) e jarro original (D).

Assim, o tambor foi projetado (Figura 3) para operar com 2 g de particulado e 54 esferas de 6 mm e impresso em PLA. Logo, ele teve seu tamanho reduzido consideravelmente em relação ao jarro original, tendo 13,7 ml de capacidade líquida, 17,80 mm de diâmetro interno, 49,30 mm de altura e geometria oitavada, própria para o processo de tamboreamento. A impressão 3D é um processo aditivo de prototipagem rápida pelo qual se constrói um objeto que fora previamente modelado

digitalmente, geralmente por CAD. Neste tipo de processo, sucessivas camadas vão sendo adicionadas, por meio da deposição de material fundido, dando forma ao objeto modelado⁽⁵⁾. Com essa técnica, obteve-se praticidade para a idealização do projeto, conseguindo-se a geometria de tambor observada na literatura, e sua produção em curto tempo, havendo, apenas, a necessidade de corrigir dois aspectos do produto: a sua porosidade e o seu baixo peso. Portanto, para garantir a vedação do tambor, utilizou-se resina epóxi nas suas superfícies, interna e externa, tapando os seus poros superficiais; e, para promover a aderência entre o tambor e os rolos, o tambor foi embutido num tubo metálico, o que o manteve rotacionando com estabilidade durante o processo.

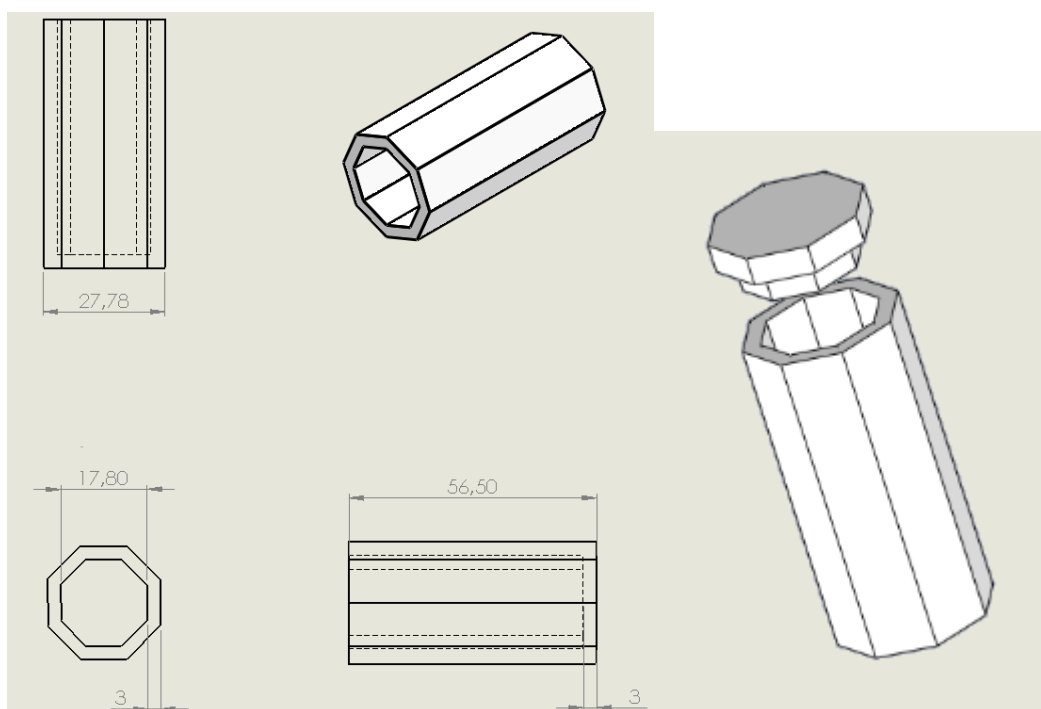


Figura 3. a) Vistas do projeto do tambor. b) Montagem do tambor com a tampa.

No leiaute original, o jarro era apoiado sobre dois rolos, um dos quais é acionado pelo motor, que gira passando o movimento ao jarro. O segundo rolo gira pela transmissão por atrito com o jarro, não oferecendo resistência para que o jarro rotacione livremente. Entre os rolos, há duas hastes, uma em cada extremidade dos rolos, que possuem, cada uma, um cone giratório que serve para impedir que o jarro se desloque para além da parte emborrachada dos rolos; estas hastes com os cones serviram para adaptar um terceiro rolo, mais próximo ao rolo-motor, possibilitando a utilização dos recipientes menores que foram projetados. Para se fazer essa adaptação, escolheu-se um tubo de metal com 34,85 mm de diâmetro. Para auxiliar o movimento do tubo adaptado (e evitar trepidações do tambor rotacionando), utilizou-se dispositivos elásticos para transmitir o movimento do motor a ele. A Figura 4 mostra a bancada adaptada para o tamboreamento na escala desejada:

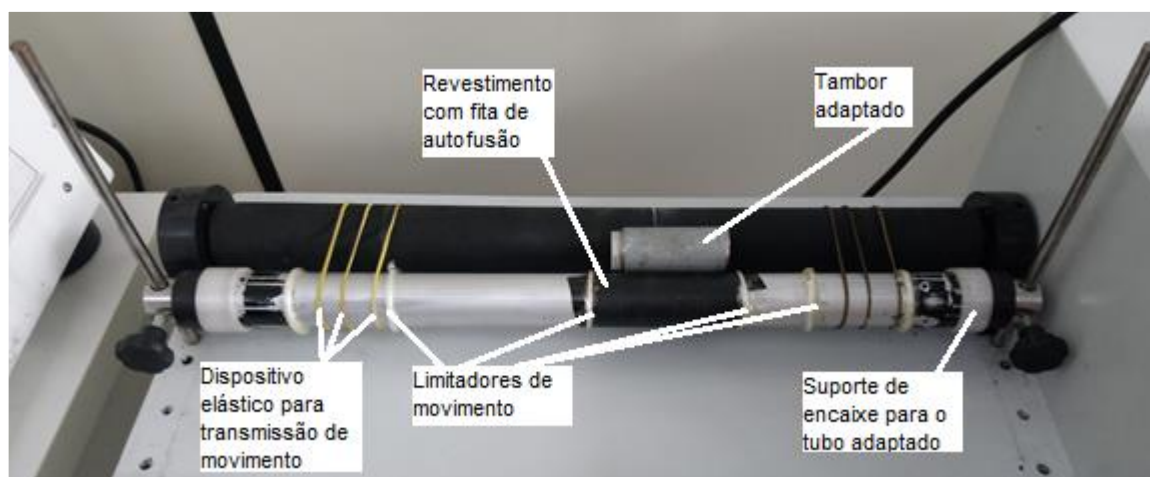


Figura 4. Moinho adaptado.

O rolo adaptado teve a parte que estava em contato com o tambor revestida com fita de autofusão. Essa parte também foi limitada com anéis para que o tambor não saísse dela ao decorrer do processo. O sistema de encaixes impressos em PLA permitiu a fixação do eixo adaptado de forma que este se mantivesse firme e, ainda, protegeu o material original de possíveis danos causados pela força exercida pelo tubo.

Com a adaptação da bancada de tamboreamento pronta, pôde-se fazer os testes de tamboreamento, reduzindo-se em mais de 99% a quantidade necessária em massa de particulados, o que possibilitou o desenvolvimento posterior do estudo dos efeitos dos parâmetros do processo de tamboreamento em particulados cerâmicos.

4. CONCLUSÃO

Neste trabalho, uma adaptação para uma bancada de tamboreamento foi feita a fim de se reduzir a escala de operação, possibilitando a redução da quantidade de material necessária o que implica diretamente no tempo necessário à produção do mesmo material.

O eixo adaptado utilizou os limitadores de movimento do jarro para servir como eixo, o que serviu muito bem para esse fim, pois estavam próximos ao rolo-motor e eram giratórios. Para garantir que o eixo não oferecesse resistência à rotação do tambor, utilizou-se correias para transmissão do movimento do rolo-motor ao eixo adaptado.

Tambores com dimensões apropriadas ao particulado a ser tamboreado foram projetados e impressos em PLA. Foram revestidos interna e externamente com resina epóxi, o que garantiu a sua vedação. Foram acoplados em tubos metálicos, pois eram muito leves e isso garantiu estabilidade durante a operação de tamboreamento.

As adaptações feitas, que são montáveis e desmontáveis, não prejudicaram o moinho original, que ainda pode ser utilizado para operações em escalas para as quais foi projetado originalmente.

Agradecimentos

Os autores agradecem à empresa Marina Tecnologia pelo fornecimento do material para confecção dos particulados cerâmicos e a parceria no desenvolvimento do projeto, à PROPESP/IFSul e ao CNPq pelo apoio financeiro por meio da Chamada CNPq – SETEC/MEC Nº 17/2014 - Apoio a Projetos Cooperativos de Pesquisa Aplicada e de Extensão Tecnológica” com o projeto “RiceProp – BIo massa em materiais para indústria de petróleo e gás”.

REFERÊNCIAS

- 1 GILLESPIE, L.K. Mass Finishing Handbook. New York: Industrial Press, 2006.
- 2 MARTINS, S. Exploring Tumbling Mill Dynamics Through Sensor Development. 2011, 184p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - McGill University, Québec, 2011.
- 3 SCHAEFFER, R. Process Fundamentals—How They Work? What Drives Their Cost? What Can They Do? Mass Finishing Processes. Comparing & Selecting Deburring & Finishing Methods. Dearborn, MI: Society of Manufacturing Engineers (SME), 2003.
- 4 MACEDO, Diego Dias. BANCADA DE TAMBOREAMENTO ROTATIVO PARA REBARBAÇÃO EM PEÇAS DE METAL FUNDIDO: ANÁLISE EXPERIMENTAL. 2016. 47 p. Monografia (Bacharel em Engenharia Automotiva)- UnB Gama, Universidade de Brasília, Brasília, 2016. Disponível em: <https://fga.unb.br/articles/0001/4802/TCC1_Diego_Dias_Macedo.pdf>. Acesso em: 27 set. 2018.
- 5 HOQUE, M. E.; CHUAN, Y. L.; PASHBY, I. Extrusion based rapid prototyping technique: an advanced platform for tissue engineering scaffold fabrication. Biopolymers, v. 97, n. 2, p. 83-93, 2012.

DESENVOLVIMENTO DE EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS A PARTIR DE AMIDO DE MANDIOCA: COMPARAÇÃO COM UM MATERIAL COMERCIAL

Silveira, A. M. ¹

Martins, A. B. ²

Santana, R. M. C. ³

¹ Aluno de Graduação, Augusto Michelon Silveira, UFRGS, augusto.michelon@ufrgs.br

² Aluna de doutorado, Andréa Bercini Martins, UFRGS e andrea.bercini@ufrgs.br

³ Professora Doutora, Ruth Marlene Campomanes Santana, UFRGS e ruth.santana@ufrgs.br

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

Resumo

Polímeros biodegradáveis com potencial aplicação em embalagens descartáveis têm despertado cada vez mais a atenção da indústria e de pesquisadores por constituírem uma classe de materiais sustentáveis, que diminuem o impacto negativo dos polímeros no meio ambiente. Estes materiais podem ser obtidos de matérias primas naturais ou mesmo uma mistura destas com as sintéticas. Misturas poliméricas compostas de polipropileno (PP) e amido termoplástico (TPS) são resistentes mecanicamente e podem ser aplicadas em embalagens descartáveis. Contudo, devido a diferença de polaridade desses componentes, é necessário o uso de agentes compatibilizantes a fim de melhorar a interface entre estes dois polímeros, por serem incompatíveis quimicamente. Assim, estudou-se a influência de dois agentes compatibilizantes naturais (ácido mirístico, C14 e ácido esteárico, C18) nas propriedades mecânicas e físicas de misturas TPS/PP (70/30) obtidas por câmara de mistura, e comparou-se com uma amostra comercial (CS) feito à base de amido de milho (60%) usado para embalagens descartáveis. Resultados de resistência ao impacto mostraram que as amostras TPS/PP sem ácido absorveram 350% mais energia que as CS, enquanto que as amostras com C14 e C18, 750% e 600%, respectivamente. As amostras TPS/PP com ácidos apresentaram maior absorção de umidade comparado com a CS. Em relação a coloração, as misturas TPS/PP/C18 apresentaram menor brilho do que a CS, mais escuras (menor L*) e avermelhadas (maior a*). Assim, as amostras TPS/PP com ácido apresentaram melhor resistência mecânica, o que as torna mais vantajosas para aplicação em embalagens, porém absorvem mais água, o que pode ser contornado pela adição de anti-umectantes.

Palavras-chave: embalagens, amido de mandioca, misturas, propriedades.

DEVELOPMENT OF BIODEGRADABLE PACKAGING FROM MANDIOCA STARCH: COMPARISON WITH A COMMERCIAL MATERIAL

Abstract

Biodegradable polymers with potential application in disposable packaging have increasingly attracted the attention of industry and researchers as they constitute a class of sustainable materials that reduce the negative impact of polymers on the environment. These materials can be obtained from natural sources or even a mixture of them with synthetic materials. Polymeric mixtures made of polypropylene (PP) and thermoplastic starch (TPS) are mechanically resistant and can be applied in disposable packaging. However, due to the polarity difference of these components, it is necessary to use compatibilizing agents in order to improve the interface adhesion between these two polymers because they are chemically incompatible. Thus, the influence of two natural compatibilizing agents (myristic acid, C14 and stearic acid, C18) on the mechanical and physical properties of TPS/PP mixtures (70/30) obtained by mixing chamber was studied, and compared with a commercial sample (CS) made from corn starch (60%) used for disposable packaging. Results of impact resistance showed that acid-free TPS/PP samples absorbed 350% more energy than CS, whereas samples with C14 and C18, 750% and 600%, respectively. TPS/PP samples with acids showed higher moisture absorption compared to CS. Regarding coloration, the TPS/PP C18 blends presented lower gloss than CS, but darker (lower L*) and reddish (greater a*). Thus, TPS/PP samples with acid presented better mechanical resistance, which makes them more advantageous for application in packages, but they absorb more water, which can be overcome by the addition of anti-wetting agents.

Key words: packaging, cassava starch, mixtures, properties.

1. INTRODUÇÃO

A utilização de polímeros à base de petróleo é muito ampla, uma vez que são materiais baratos, fáceis de transformar, hidrofóbicos e biologicamente inertes. No entanto, contribuem para o esgotamento das limitadas reservas de combustíveis fósseis, e o descarte incorreto dos polímeros não biodegradáveis causa acúmulo de resíduos em aterros sanitários. Uma alternativa é minimizar a quantidade de plástico não degradável utilizado, substituindo-os por polímeros biodegradáveis.

O amido nativo é um polissacarídeo muito encontrado em tubérculos e cereais, e é conhecido por ser totalmente biodegradável. Entretanto, o amido nativo apresenta grandes problemas relacionados à sua processabilidade e dependência com a temperatura, dificultando sua utilização em equipamentos comuns de processamento polimérico, como extrusão e injeção. Assim, utiliza-se o amido plastificado, conhecido como amido termoplástico (TPS), que é obtido através da mistura do amido nativo com um agente plastificante, como a água, glicerol, sorbitol entre outros [1].

A mistura de PP (polipropileno) e TPS é extensamente estudada por pesquisadores do mundo inteiro [2]–[4]. O principal impedimento para a utilização destes materiais é a incompatibilidade entre o hidrofílico TPS e o hidrofóbico PP, que resulta em perda das propriedades mecânicas. Uma alternativa para isto é a utilização de agentes compatibilizantes sintéticos como o polipropileno graftizado com anidrido maleico (PPgMA), obtidos da modificação química ou processamento reativo [5]. O objetivo desta modificação é a inserção de grupamentos polares na cadeia principal do PP, tornando-o capaz de estabelecer interações físicas e/ou químicas com outros materiais. Diversos autores estudaram o uso de compatibilizantes sintéticos em blendas de TPS [6]–[8].

Apesar dos agentes compatibilizantes sintéticos serem eficazes, estes são de difícil obtenção, provenientes de fontes não renováveis e diminuem o caráter biodegradável do material [9]. Assim, formas alternativas para compatibilizar blendas de polímeros sintéticos e TPS são estudadas, como o caso da funcionalização do amido, com o objetivo de produzir amidos hidrofóbicos. Embora a graftização tanto do amido como do polímero, seja eficiente, necessitam de um sistema de síntese, gerando resíduos e gastos energéticos. Martins e Santana (2016) [10] mostraram o efeito positivo da simples incorporação de ácidos carboxílicos, como substituto aos agentes compatibilizantes comerciais, nas propriedades de blendas de PP/TPS. A distribuição de um terceiro elemento, isto é, o ácido carboxílico, em uma blenda duas fases, pode ser bastante complexa, uma vez que várias estruturas podem se formar e devem ser consideradas.

A busca por materiais biodegradáveis que substituem os polímeros sintéticos é recente, mas já existe no mercado brasileiro um material que apresenta em sua composição (segundo o fabricante) polímeros biodegradáveis de fonte natural (60% de amido de milho), polímeros biodegradáveis de fonte sintética (20% de PBS – poli(succinato de butileno)), polímeros sintéticos (10% de PP), e polímeros biodegradáveis sintetizados (8% de PLA - poli(ácido láctico)).

Assim, o objetivo deste trabalho foi comparar as propriedades de blendas de amido de mandioca termoplástico e polipropileno (70/30) compatibilizadas com agentes compatibilizantes naturais com as propriedades de uma amostra comercial.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

O polipropileno (PP) com um IF (índice de fluidez) de 3,3g/10min, projetado para embalagens descartáveis, foi o polímero sintético utilizado, este fornecido pela BRASKEM®. O amido de mandioca utilizado foi de grau alimentício, adquirido em uma loja local na cidade de Porto Alegre, RS, Brasil. Os ácidos orgânicos utilizados foram: ácido mirístico (C14) e ácido esteárico (C18). O glicerol e os ácidos foram fabricados pela marca Dinâmica. A amostra biodegradável comercial foi doada, e segundo o fornecedor era composto de: 60% amido de milho, 20% PBS (polisuccinato de butileno), 10% PP, 8% PLA (poli ácido láctico) e 2% outros.

2.2 Processamento do material

O amido foi primeiro misturado manualmente com 30% em peso de glicerol até se obter uma mistura homogênea para a obtenção do amido termoplástico (TPS). Em seguida, a mistura foi armazenada em estufa a 60°C durante 24h e após, o TPS foi peneirado. As blendas contendo 70% TPS e 30% PP foram processadas, com ou sem ácido, em câmara de mistura (Thermo Scientific Haake Rheomix OS). A velocidade utilizada foi de 60 rpm durante 7 minutos a temperatura de 165°C. As composições das amostras estão descritas na Tabela 1. Após o processamento, o material foi moído e moldado por injeção em uma mini injetora de bancada (Thermo Scientific MiniJet II injector) a temperatura de 185°C, molde a 100°C e pressão de injeção em 350 bar para os testes de resistência ao impacto. A amostra comercial foi doada já em formato de *pellets* e foi moldada por injeção nas mesmas condições.

Tabela 1. Composição das blendas de TPS/PP com e sem ácido (SAC)

Amostra	PP (%)	TPS (%)	Ácido	Ácido (%)
TPS/PP/SAC	30	70	-	0
TPS/PP/3C14	30	70	C14	3
TPS/PP/3C18	30	70	C18	3

2.3 Testes mecânicos

O teste de impacto Izod das amostras não entalhadas foi conduzido usando um equipamento CEAST-IMPACTOR II, de acordo com a norma ASTM D4812 e um martelo 2,75 J. As amostras não tinham entalhe e as dimensões eram 63,5 mm x 12,5 mm x 3,3 mm. Sete medições foram feitas para cada amostra e o resultado obtido corresponde à média dos valores.

2.4 Cor

A análise de cor e o brilho foram realizadas com o uso de um espectrofotômetro portátil Spectro-Guide, da marca BYK, modelo Sphere Gloss, disponível no Lapol. Foi adotado o sistema de cores CIELAB, da Comissão Internacional de Iluminação. As medidas foram realizadas em triplicata, em regiões escolhidas ao acaso da face exposta. Obtiveram-se os valores de a, b e L. Esses

valores compõe as variáveis do espaço cromático CIELab e auxiliam na quantificação das mudanças de coloração sofridas pelas amostras após a degradação. O valor “a” mostra a variação da coloração verde (-a) para o vermelho (+a); o valor “b” está relacionado com as mudanças da coloração de azul (-b) para o amarelo (+b) e o valor “L” representa a luminosidade, sendo que seus valores numéricos variam de preto (0) para branco (100). E o valor de G refere-se ao brilho.

2.5 Absorção de umidade a 75% UR

A absorção de umidade a 75% de umidade relativa (UR) foi realizada baseada nas normas ASTM D5229 e E104. As amostras foram previamente secas em estufa a 60°C por 24 h e então mantidas em ambiente fechado com NaCl (cloreto de sódio) saturado afim de manter a UR em 75%. As amostras foram pesadas periodicamente, durante 60 dias. Estas medidas foram realizadas em triplicata, os valores apresentados equivalem às médias obtidas. A absorção de umidade foi calculada conforme a Equação (2).

$$WA = 100 \times \frac{(M2 - M1)}{M1} \quad (2)$$

Onde, **WA** corresponde a porcentagem de absorção de umidade, **M1** o peso da amostra seca e **M2** o peso depois da exposição a umidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As propriedades mecânicas foram avaliadas através da resistência ao impacto, como mostra a Figura 1. Blendas não compatibilizadas (sem ácido - SAC) apresentaram valores em torno de 5 kJ/m², ou seja, absorveram 350% mais energia dos que as amostras comerciais (1,5 kJ/m²). Já as amostras compatibilizadas com ácido mirístico (11,25 kJ/m²) e esteárico (8,9 kJ/m²), absorveram 750% e 600% mais energia, respectivamente.

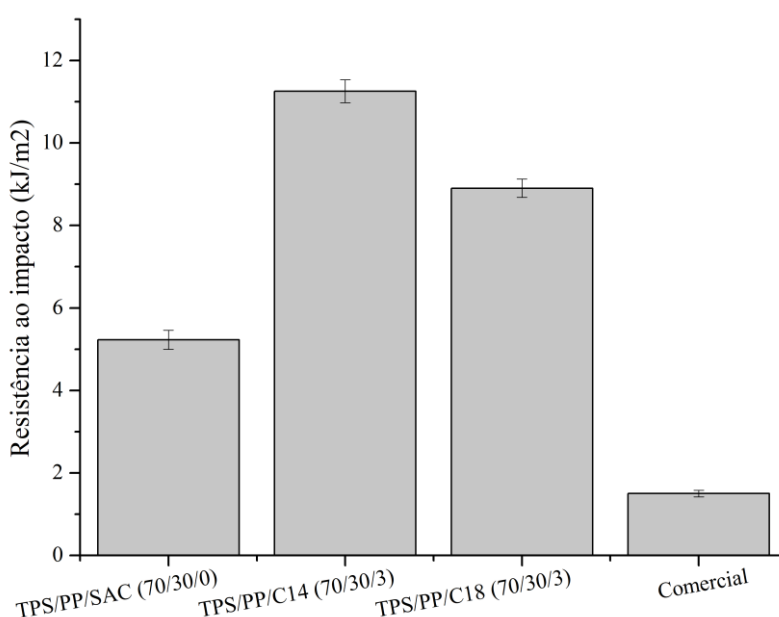


Figura 1. Resistência ao impacto das blendas testadas e da amostra comercial

Esses resultados mostram a efetividade da adição dos ácidos como compatibilizantes. Uma vez que a melhora nas propriedades mecânicas está relacionada com o aumento da adesão interfacial proporcionada pela presença de grupamentos polares e apolares do ácido. Isso permite que o ácido se coloque na interface aumentando a compatibilidade, levando ao aumento da resistência ao impacto. Chen e colaboradores [11], também mostraram o efeito positivo da incorporação de agentes compatibilizantes em blendas de PP e TPS.

A influência da presença do ácido e de sua natureza nas propriedades colorimétricas das blendas é apresentada na Tabela 2. As amostras injetadas eram de coloração marrom avermelhada (Figura 2), como percebido pelos valores positivos de a^* (vermelho) e b^* (amarelo). Essa coloração é atribuída às reações de Maillard que ocorrem no processamento do amido a altas temperaturas [12].

Tabela 2. Resultados da análise colorimétrica pelo sistema CIELAB

Amostras	L^*	a^*	b^*	Brilho
TPS/PP/SAC	52,18 ± 1,68	4,25 ± 0,11	20,02 ± 1,32	9,93 ± 1,52
TPS/PP/C14	47,22 ± 1,25	5,31 ± 0,14	16,23 ± 0,45	3,94 ± 0,56
TPS/PP/C18	49,62 ± 1,30	5,22 ± 0,04	16,28 ± 0,36	4,39 ± 0,40
Comercial	82,76 ± 0,88	0,77 ± 0,11	16,51 ± 1,43	6,39 ± 1,44

Entretanto, observou-se diferenças significantes entre as blendas compatibilizadas e as não compatibilizadas. As blendas com ácido mostraram valores de L^* e b^* menores do que a blenda não compatibilizada. Esse efeito pode ser atribuído a compatibilização, onde os grânulos do amido estão protegidos pela matriz polimérica, evitando sua degradação. Além disso, os ácidos podem atuar como plastificantes, diminuindo o cisalhamento entre a massa fundida e o equipamento, evitando a elevação da temperatura.

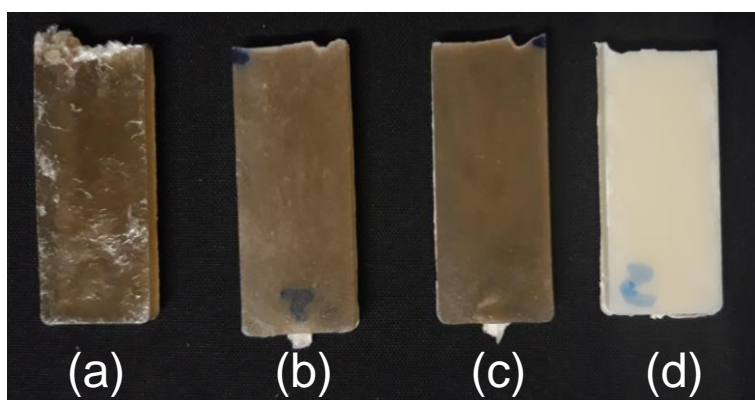


Figura 2. Imagens reais dos corpos de prova injetados (a) TPS/PP/SAC, (b) TPS/PP/C14, (c) TPS/PP/C18 e (d) comercial.

Na Figura 3, encontram-se os resultados de absorção de umidade a 75% UR para as blendas e a amostra comercial. Primeiramente, é possível observar que as amostras controle, 100% TPS e 100% PP, absorveram a maior (25%) e a menor (0,03%) quantidade de umidade, respectivamente. A amostra 100% TPS mostrou

uma curva típica de absorção de umidade, onde as amostras absorvem água rapidamente nos primeiros dias, até atingir o equilíbrio, onde elas pararam de absorver umidade. Este resultado é esperado uma vez que o TPS apresenta grupamentos polares o que possibilita a formação de ligações de hidrogênio com água, e conseqüentemente, alta afinidade com a água. Enquanto que o PP, por ser apolar, não possui afinidade com a água.

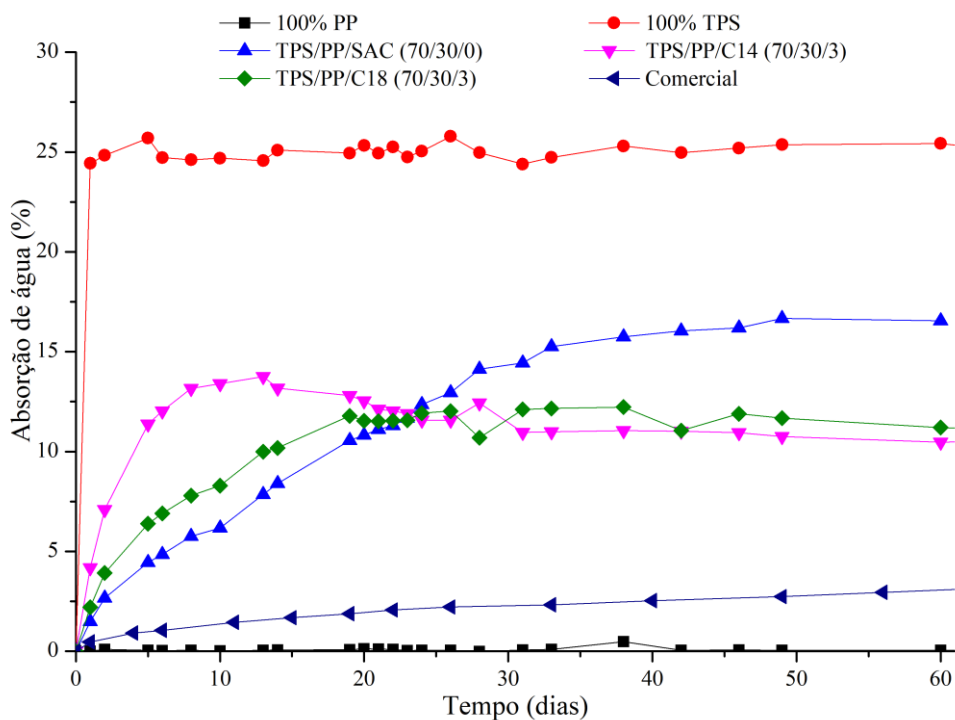


Figura 3. Absorção de umidade a 75% UR em função do tempo

Entre as blendas formuladas com 70%TPS e 30%PP, observou-se que inicialmente a amostra sem a incorporação de ácidos (TPS/PP/SAC) absorveu menos umidade, mas essa tendência foi aumentando com o passar do tempo, estabilizando em 17% após 60 dias. Provavelmente, essa formulação tenha menos hidroxilas livres na superfície, em comparação a amostra 100% TPS, e há menos difusão para o interior da amostra, uma vez que também há PP na superfície.

Entretanto, com a adição dos ácidos, a absorção caiu para 11%. Como o objetivo da inserção dos ácidos é aumentar a compatibilidade, isso pôde ser demonstrado por um melhor encapsulamento do TPS pelo PP, diminuindo a disponibilidade de hidroxilas livres do amido e com isso diminuindo a absorção de água. Além disso, como são os grupamentos polares (-COOH) do ácido que reagem com o TPS, este acaba por hidrofobizar o amido, aumentando a quantidade de grupamentos apolares (cadeia carbônica). Os autores [13] encontraram menores valores de permeabilidade a vapor de água para filmes de farinha de amaranto e ácido esteárico produzidos por *casting*. Entretanto, os autores [14] não observaram influência na absorção de água dos ácidos orgânicos nas composições com TPS.

Observa-se também que para a amostra compatibilizada com ácido mirístico (PP/TPS/C14) há um máximo de absorção (13% após 13 dias de teste) seguido de uma diminuição e estabilização em 11%. Isso pode ser explicado pelo efeito osmótico, que faz com a água migre para o interior da amostra e solubilize componentes da blenda, causando perda de massa.

Apesar do fabricante da amostra comercial divulgar que na sua composição apenas 10% é material sintético (PP), a amostra comercial apresentou absorção final em torno de 3,5%. Embora apresente melhores propriedades mecânicas, a afinidade com água deve ser minimizada, uma vez que o objetivo deste material é sua utilização com alimentos e bebidas, e não pode haver migração de compostos da embalagem para o alimento e nem do alimento para a embalagem.

4. CONCLUSÃO

A resistência ao impacto das blendas com ácido foi significativamente maior do que a resistência da amostra comercial, se mostrando mais eficiente neste quesito para a aplicação em embalagens. Porém as amostras com e sem ácido absorvem uma quantidade significativa de umidade, o que dificultaria o uso em embalagens de alimentos, por exemplo. Assim, mais estudos serão realizados, como a incorporação de agentes anti-umectantes a fim de otimizar as propriedades físicas, aliando com as boas propriedades mecânicas.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a CAPES, ao LAPOL, ao PPGE3M, à UFRGS, ao SIBRATEC/RESAG e à BRASKEM.

REFERÊNCIAS

- [1] A. Mohammadi Nafchi, L. H. Cheng, and A. A. Karim, "Effects of plasticizers on thermal properties and heat sealability of sago starch films," *Food Hydrocoll.*, 2011.
- [2] M. A. PÉREZ R, B. L. RIVAS Q, and S. RODRÍGUEZ-LLAMAZARES, "POLYPROPYLENE/STARCH BLENDS: STUDY OF THERMAL AND MORPHOLOGICAL PROPERTIES," *J. Chil. Chem. Soc.*, vol. 58, no. 1, pp. 1643–1646, Mar. 2013.
- [3] S. B. Roy, B. Ramaraj, S. C. Shit, and S. K. Nayak, "Polypropylene and potato starch biocomposites: Physicomechanical and thermal properties," *J. Appl. Polym. Sci.*, 2011.
- [4] D. S. Rosa, M. A. G. Bardi, L. D. B. MacHado, D. B. Dias, L. G. A. Silva, and Y. Kodama, "Starch plasticized with glycerol from biodiesel and polypropylene blends : Mechanical and thermal properties," *J. Therm. Anal. Calorim.*, vol. 102, no. 1, pp. 181–186, 2010.
- [5] B. Imre and B. Pukánszky, "Compatibilization in bio-based and biodegradable polymer blends," *Eur. Polym. J.*, vol. 49, no. 6, pp. 1215–1233, 2013.
- [6] A. Taguet, M. N. Bureau, M. A. Huneault, and B. D. Favis, "Toughening mechanisms in interfacially modified HDPE/thermoplastic starch blends," *Carbohydr. Polym.*, 2014.
- [7] C. Cerclé, P. Sarazin, and B. D. Favis, "High performance polyethylene/thermoplastic starch blends through controlled emulsification phenomena," *Carbohydr. Polym.*, 2013.

- [8] A. R. Rahmat, W. A. W. A. Rahman, L. T. Sin, and A. A. Yussuf, “Approaches to improve compatibility of starch filled polymer system: A review,” *Materials Science and Engineering C*. 2009.
- [9] C.-Y. Huang, M.-L. Roan, M.-C. Kuo, and W.-L. Lu, “Effect of compatibiliser on the biodegradation and mechanical properties of high-content starch/low-density polyethylene blends,” *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 90, no. 1, pp. 95–105, Oct. 2005.
- [10] A. B. Martins and R. M. C. Santana, “Effect of carboxylic acids as compatibilizer agent on mechanical properties of thermoplastic starch and polypropylene blends,” *Carbohydr. Polym.*, vol. 135, pp. 79–85, Jan. 2016.

ESTUDO DA DEGRADAÇÃO DE AZUL DE METILENO EM SOLUÇÃO ATRAVÉS DO TRATAMENTO COM PLASMA FRIO

De Oliveira, L. S.¹

Takimi, A. S.²

¹ *Bacharel em Engenharia de Materiais, Luana Silveira de Oliveira, Laboratório de Processos Eletroquímicos e Corrosão – Eletrocorr (Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS), luana.oliveira@ufrgs.br.*

² *Professor Doutor em Ciência e Tecnologia dos Materiais, Laboratório de Processos Eletroquímicos e Corrosão – Eletrocorr (Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS), astakimi@ufrgs.br.*

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

Resumo

As indústrias geram grandes volumes de efluentes que muitas vezes possuem uma carga considerável de compostos orgânicos que precisam ser eliminados para evitar danos na saúde e nos ecossistemas quando descartados. No entanto, muitos destes compostos são de difícil remoção e requerem soluções alternativas para serem decompostos. O plasma frio se mostra uma tecnologia promissora para tratar estes efluentes, pois gera múltiplas espécies oxidantes e radiação UV que atuam em sinergia para degradar uma gama diversificada de compostos. Contudo, este processo ainda é pouco estudado e a relação entre as variáveis de processo e o desempenho não estão consolidadas. Deste modo, o presente trabalho apresenta uma análise sobre a correlação entre os principais parâmetros do tratamento com plasma frio (concentração inicial de composto, distância do eletrodo da solução, material do eletrodo e tempo de exposição) sobre a cinética de degradação do azul de metileno. As soluções tratadas tiveram seu pH medido e foram analisadas por espectroscopia de UV/Vis para avaliar a eficiência de degradação através do decaimento de absorbância no comprimento de onda característico do azul de metileno. Os resultados mostram que há uma forte relação entre o tempo de aplicação do processo e o pH final da solução, onde tempos de tratamento prolongados levam a um pH mais baixo. Além disso, a concentração inicial de corante, o material do eletrodo, e a interação entre material e distância do eletrodo influenciam significativamente a cinética de degradação do azul de metileno. Ainda, é observado que o uso de eletrodo de aço e uma baixa concentração inicial levam a cinéticas mais elevadas, fato que motiva a continuidade de estudos, dado que os compostos tóxicos usualmente possuem concentrações baixas.

Palavras-chave: processos oxidativos avançados; plasma; corante; degradação; tratamento de efluentes.

STUDY OF DEGRADATION OF METHYLENE BLUE IN LIQUID THROUGH COLD PLASMA

Abstract

Industries generate a high volume of effluents that many times have a considerable amount of organic compounds that need to be eliminated to avoid

health and ecosystem problems when discarded. However, many of these compounds are difficult to be removed and require alternative solutions in order to be decomposed. Cold plasma shows itself as a promising technology to treat these effluents, because it generates multiple oxidating species and UV radiation that act in synergy to degrade a diversified amount of compounds. Yet, this process is still not studied in depth and the relation between the process variables and the performance of the first are yet to be consolidated. With this in mind, the present work presents an analysis of the correlation between the main parameters of the cold plasma process (initial compound concentration, distance between the electrode and the solution, electrode material and time of exposure) under the kinetics of degradation of methylene blue. The solutions had their pH measured and were analyzed by UV/Vis spectrometry to evaluate the degradation efficiency through the decay in the absorbance of the characteristic wavelength of methylene blue. Results show that there is a strong relation between the time of exposure and the pH of the solution, where longer exposure times led to a lower pH. In addition, the initial concentration of the coloring, the electrode material, and the interaction between the material and the electrode distance have a significant influence in the kinetics of the degradation of methylene blue. Furthermore, it was observed that the use of steel electrode and a low initial concentration led to higher kinetics. This motivates further studies, given that toxic compounds normally have low concentrations.

Key words: advanced oxidative process; plasma; dye; degradation; wastewater treatment.

1 INTRODUÇÃO

Na indústria há uma elevada demanda de água num cenário que apresenta recursos hídricos limitados, necessitando desenvolver métodos que viabilizem a manutenção das atividades industriais, sendo as principais estratégias redução e reuso da água. Segundo a associação brasileira das indústrias têxteis em 2017 o Brasil produziu 1,7 milhão de toneladas. Estima-se que 200L de água são necessários para fabricar 1Kg de produtos têxteis ¹. Um volume tão considerável mostra a necessidade de achar formas de reutilizar.

Para reutilizar essas águas é necessário tratar a água interna de modo que atenda os critérios internos de cada processo. No setor têxtil, um requisito importante é a ausência de coloração da água para não interferir na tingimento posterior ². Estimativas mostram uma perda de 10 a 15% dos corantes que não fixam as fibras vão para os efluentes durante o processo de tingimento. Os corantes são compostos de difícil remoção, pois usualmente contém um ou mais anéis benzênicos que não são facilmente degradáveis ³.

Uma outra questão é a estabilidade hidrolítica em meios neutros que os corantes utilizados no tingimento de tecidos e celulose apresentam podendo manter sua presença por até 50 anos, despertando a atenção para os possíveis impactos ecológicos desta longa duração⁴. Anualmente cerca de 100.000 corantes comerciais sintéticos e pigmentos são produzidos para serem aplicados em diversas indústrias incluindo indústria têxtil, gerando a necessidade tratamento dos efluentes contaminados por eles ³.

Diversas pesquisas mostram que os métodos convencionais de tratamento utilizados pelas indústrias têxteis não são suficientes ou apresentam desvantagens.

Os principais são floculação/coagulação que tem seu desempenho vinculado ao tipo de corante e geram muitas vezes resíduos pelo excesso de polieletrólito ((Al₂(SO₄)₃, amônia, etc)⁵. A adsorção é um método efetivo para pequena escala, porém é lento e não viável economicamente ². O somatório desses fatores torna necessário o contínuo desenvolvimento de processos efetivos para remoção dos corantes com um custo reduzido e mínimo impacto ambiental.

Os Processos Oxidativos Avançados têm se mostrado uma opção interessante pois geram agentes altamente oxidativos capazes de quebrar moléculas de diversos compostos orgânicos em moléculas menores visando a mineralização destes compostos. Estudos focados em desenvolver os POAs de maneira a torna-los competitivos na degradação de poluentes orgânicos de difícil remoção têm sido desenvolvidos, pois eles ainda apresentam custo elevado quando comparados aos processos tradicionais ⁶⁻⁸.

Dentre os POAs, a ozonização é vantajosa frente ao processo tradicional de cloração, pois o ozônio é um desinfetante mais efetivo que o cloro e não traz efeitos colaterais a saúde e meio ambiente⁵. No entanto o processo gera baixas quantidades da radical hidroxila necessitando medidas adicionais como operar outros processos em conjunto, como radiação UV ou adição de H₂O₂ ⁹. Estima-se que 90% dos tratamentos de oxidação sem UV sejam métodos de ozonização e tem como desvantagem a baixa mineralização¹⁰. Os tratamentos empregando radiação UV tem como desvantagem a instabilidade das lâmpadas UV após longos períodos e alto consumo energético ⁹.

Um estudo que apresenta uma revisão dos POAs existentes, traz os métodos envolvendo plasma frio, radiação gama e ionizante como os mais modernos que existem nesta área e que ainda são necessários maiores estudos para aplicá-los ⁹. Outra revisão, enfatiza o potencial do plasma frio pela habilidade de gerar simultaneamente, radiação UV, ondas de choque e radicais com alto poder oxidante que são componentes de interesse na descontaminação e esterilização ¹¹.

O plasma frio encontram oportunidades em outras áreas além do tratamento de efluentes com compostos de difícil degradação, como na desinfecção de águas, substituição de pesticidas e remoção de incrustações, aplicações médicas como esterilização, e tratamentos para diversos cânceres tem sido investigada por diversos autores ¹²⁻¹⁵.

A geração do plasma frio ocorre geralmente por altas descargas elétricas aplicadas diretamente no líquido ou no ar sobre a solução líquida desejada desencadeando os processos químicos e físicos necessários ¹⁶.

O plasma é bem conhecido e aplicado em outras áreas da ciência. Ele é descrito como o quarto estado da matéria, no qual o sistema apresenta-se de forma parcial ou completamente ionizada contendo partículas tais como elétrons, íons e moléculas ¹⁷. O termo plasma foi cunhado pela primeira vez por Tonks e Langmuir para descrever a região interna de um gás ionizado e brilhante gerado por descargas elétricas em um tubo ¹⁸.

Diversas configurações de descarga elétrica geram plasmas, e estes podem ser classificados em dois grandes grupos: i) plasma térmico, também denominado plasma quente e ii) plasma não-térmico ou plasma frio. No plasma quente é incorporada uma quantidade de energia suficiente para que ocorra um equilíbrio térmico entre todos os constituintes do plasma. No caso do plasma frio demanda-se

menor quantidade de energia e caracteriza-se uma alta diferença de temperatura entre os elétrons e as partículas pesadas que formam o plasma ¹⁹.

Dentre as possibilidades de reatores certamente as geometrias ponta-ponta e ponta-plano são as geometrias mais recorrentes e recebem este nome fazendo referência ao formato dos eletrodos, ²⁰. A geometria pontiaguda do eletrodo de alta voltagem favorece a ruptura da descarga elétrica. Outros reatores muito estudados são com barreira dielétrica de descarga (DBD) e arco deslizante. Transformando um dos eletrodos em isolante através de uma cobertura dielétrica é possível alterar o tipo de descarga, de um típico reator ponta plano para DBD. A barreira dielétrica evita a formação de arco que promove o equilíbrio térmico e caracteriza o plasma quente demandando maior energia para ser mantido ²¹. Já o arco deslizante são dois eletrodos em forma de semi-círculo que possuem um fluxo de gás entre eles que promove o deslocamento do arco elétrico inibindo o aquecimento local ²².

A descarga elétrica ioniza o gás e desencadeia uma série de reações que promovem uma variedade de radicais dentre os mais importantes para nossa aplicação são as hidroxilas. Esses processos desencadeados pela descarga podem ser bem complexos de descrever, como demonstrado na figura 1. Eles incluem reações químicas em fase gasosa e fase líquida, transporte de espécies entre fases, transferência de massa e calor, reação na região interfacial líquido-gás. A região interfacial tem destaque, pois é onde ocorrem a maioria das reações das espécies de curta duração de vida, no entanto, a profundidade é variável uma vez que as espécies apresentam profundidades de penetração relacionadas com seus tempos de vida ²⁰.

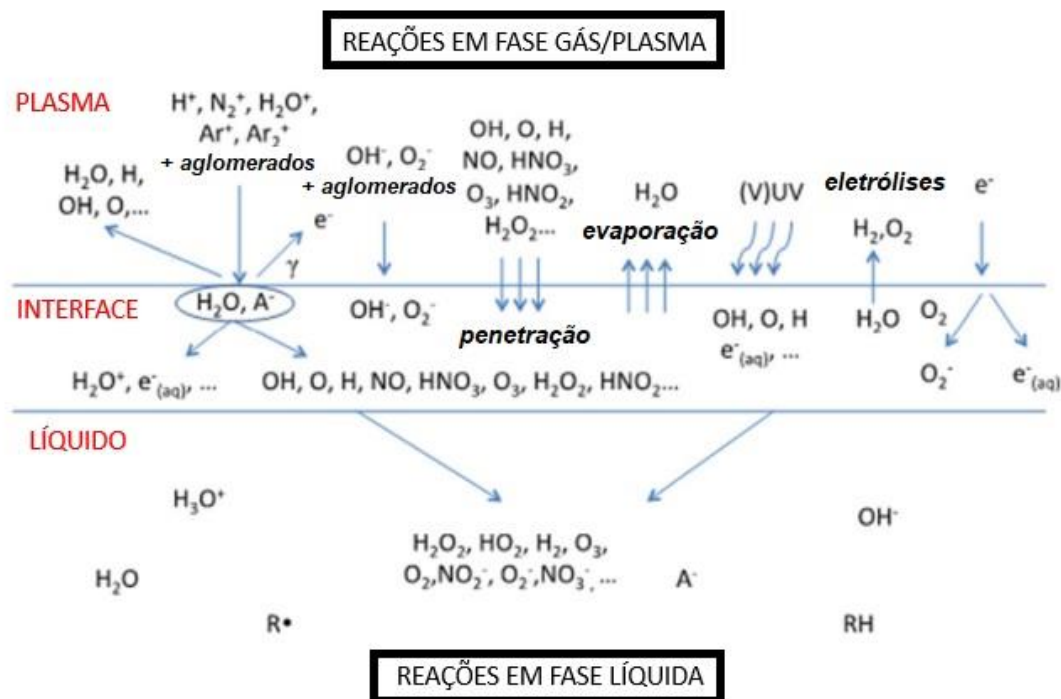


Figura 1. Esquema das reações das espécies mais importantes e principais mecanismos²⁰

No uso de plasma em sistemas híbridos gás/líquido há uma baixa taxa de transporte no líquido que causa um alto diferencial de temperatura e concentração entre o plasma e o líquido desencadeando a recombinação e extinção dos radicais ¹⁹. Vanraes P, Nikiforov AY Leys C indicam como fatores importantes para as reações químicas a configuração e o material do eletrodo, o regime de descarga

elétrica, a forma de onda da tensão aplicada, as propriedades da água e o gás ambiente²³.

Contudo, nesse processo ainda não há uma compreensão consolidada sobre o efeito das variáveis de processo e como essas podem melhorar o desempenho da degradação de compostos através do plasma. Deste modo, o presente trabalho apresenta um estudo dos parâmetros do processo de tratamento por plasma não térmico empregando uma solução aquosa de azul de metileno como composto modelo.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos em atmosfera ambiente, usando a configuração ponta-plano para o reator de plasma com uma fonte de corrente alternada e eletrodo cambiável, de acordo com a figura 2. Alíquotas de 50 mL das soluções foram expostas ao tratamento em uma placa de Petry que atuou como barreira dielétrica para as descargas, que caracteriza o reator de plasma de descarga com barreira dielétrica (DBD). As soluções empregadas foram obtidas pela diluição do azul de metileno (Dinâmica) em água deionizada, formando uma solução mãe de 500mg/L que é posteriormente diluída para formar soluções com concentrações de 25 e 50 mg/L.

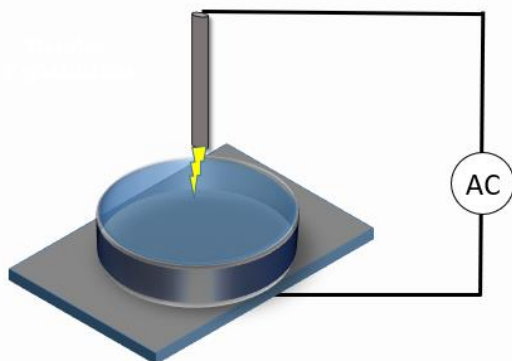


Figura 2. Desenho esquemático do experimento

As amostras foram nomeadas utilizando 5 e 7 caracteres que indicam os parâmetros adotados, sempre na mesma ordem de informações VXXYY/ZZ, indicando V(mm) como a distância da solução, com eletrodo do material XX que pode ser Fe ou Cu, concentração de YY (mg/L) e algumas amostras apresentam a informação adicional ZZ que indica o tempo de tratamento ao plasma, quando esta informação não está em um dos eixos dos gráficos.

O estudo foi elaborado utilizando as ferramentas de projetos de experimentos, na qual definiu-se os fatores mais relevantes para este primeiro estudo. Optou-se por avaliar os dados utilizando ANOVA generalizado e um nível de significância de 0,05. Essa análise foi realizada com auxílio do software Minitab (cálculos estatísticos e geração dos p-valores para todos os fatores e suas interações de 2ª ordem). As

interações em ordem superior estão foram consideradas no termo de erro da ANOVA.

A variável resposta utilizada foi a absorvância das soluções no comprimento de onda característico do azul de metileno (665 nm) e a ordem de execução dos ensaios foi aleatorizadas previamente de modo a distribuir possíveis erros intrínsecos. Os 4 fatores de estudo foram as variáveis i) tempo, ii) concentração de azul de metileno em solução, iii) distância do eletrodo à solução e iv) material do eletrodo, e os valores de estudo programados para cada fator são descritos na tabela a seguir, onde apresenta o nível, que é o números de condições testadas e os respectivos valores testados para cada fator.

Informações dos Fatores

Fator	Tipo	Níveis	Valores
Tempo(min)	Fixo	3	10; 15; 20
Concentração (mg/L)	Fixo	2	25; 50
Material	Fixo	2	Cu; Fe
Distância (mm)	Fixo	2	4; 8

Tabela 1. Fatores principais estudados e seus respectivos níveis.

As absorvâncias das amostras foram determinadas através do emprego de um espectrofotometro UV-Vis (Varian Cary 1E), utilizando uma varredura na faixa de comprimento de onda de 300nm até 800, afim de medir a degradação do grupo cromóforo do azul de metileno e calcular a eficiência de remoção, que é dada pela seguinte fórmula.

$$T = (A_0 - A) / A_0$$

T= eficiência de remoção

A₀= Absorvância inicial

A= Absorvância

Para acompanhar a variação de pH das soluções foi utilizando fitas indicadoras (MN) na faixa de 1 a 14 para amostras e comparado com a escala de cores característica.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O azul de metileno utilizado neste trabalho apresenta como curva característica de absorção da faixa do visível uma absorção maior na faixa na região de comprimento de onda 665 nm como podemos verificar no gráfico a seguir que mostra esse comportamento tanto nas soluções de 25 e 50 mg/L.

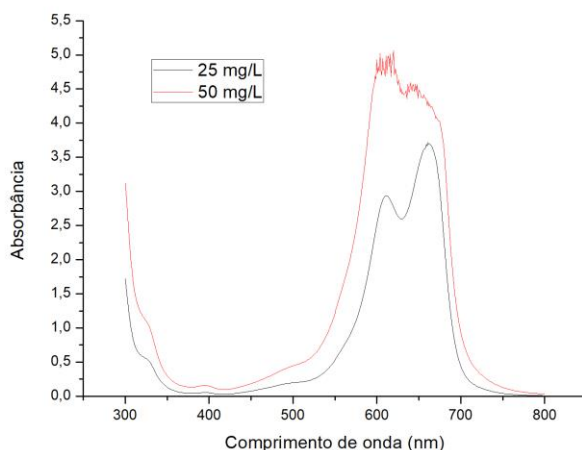


Figura 2 Absorbância do azul de metileno no visível.

A absorbância no comprimento de onda característico do azul de metileno para todas as configurações foi acompanhando ao longo dos tempos de tratamento conforme apresentado no gráfico a seguir.

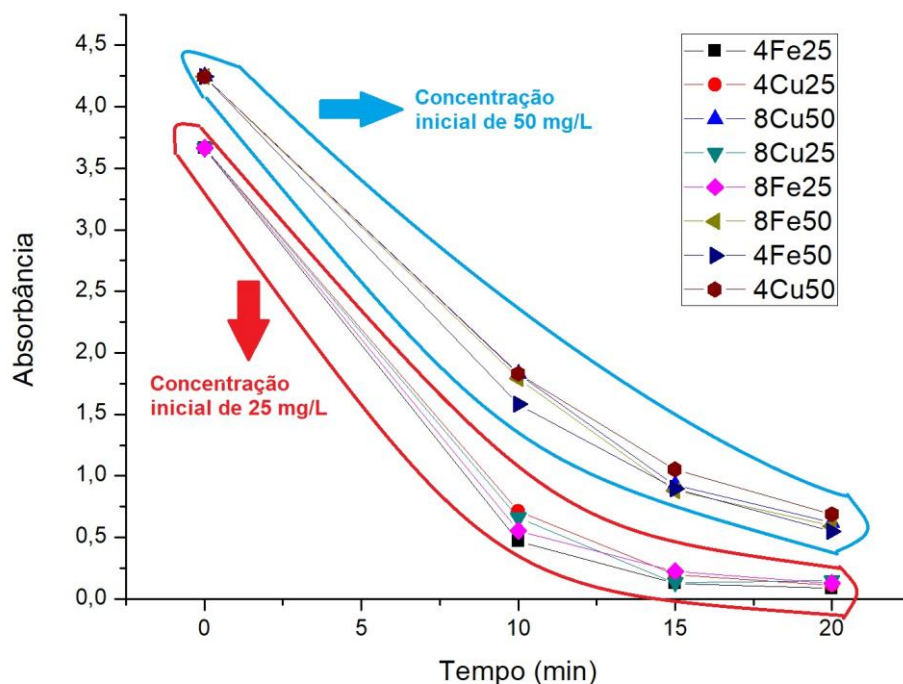


Figura 4. Absorbância das amostras em 665 nm em relação ao tempo de tratamento com plasma.

O grupo de amostras circulado em vermelho são as soluções com concentração inicial de 25 mg/L e as em circulado em azul eram de 50 mg/L. Se observa um rápido decaimento da absorbância em função do tempo de aplicação do plasma em todas as configurações propostas.

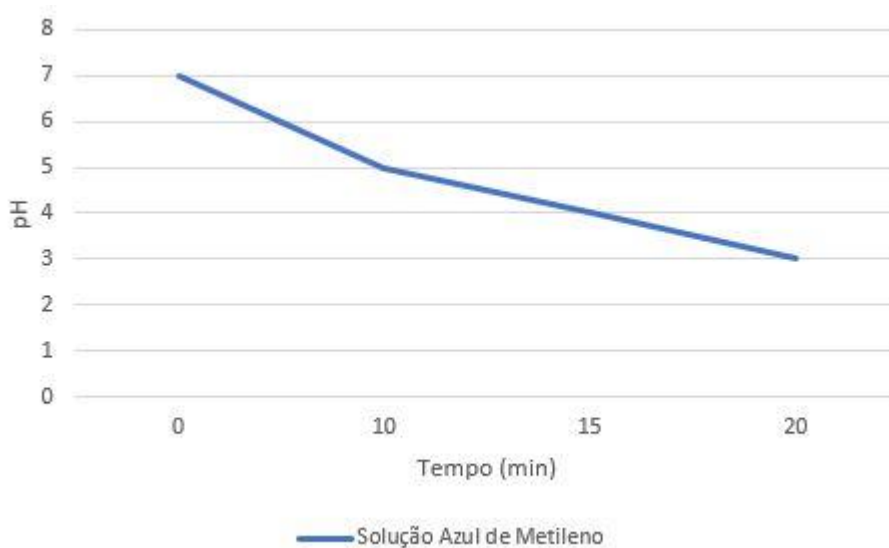


Figura 5. pH das soluções em relação ao tempo de exposição ao plasma.

A figura 5 mostra o comportamento do pH em todas as amostras, inicialmente o pH medido foi 7 e quanto maior o tempo de tratamento maior o decréscimo do pH até chegar no valor de pH 3 para as amostras expostas ao plasma por 20 minutos. O método utilizado para averiguar o pH tem pouca sensibilidade e pode não ter captado variações mais sutis. Este comportamento é previsto em estudos anteriores que apontam um rápido decaimento do pH das soluções para valores entre 2-3 quando aplicado o plasma frio ²⁴⁻²⁴. A acidificação ocorre o plasma gera espécies ácidas, Cadornin, B. M (2012) aponta que este processo ocorre mais rapidamente em atmosferas contendo nitrogênio, pois favorece a formação de espécies como HNO_2 e HNO_3 ²⁵.

Na Figura 6 abaixo são apresentadas as relações entre as absorvâncias das soluções em função dos parâmetros material do eletrodo, distância.

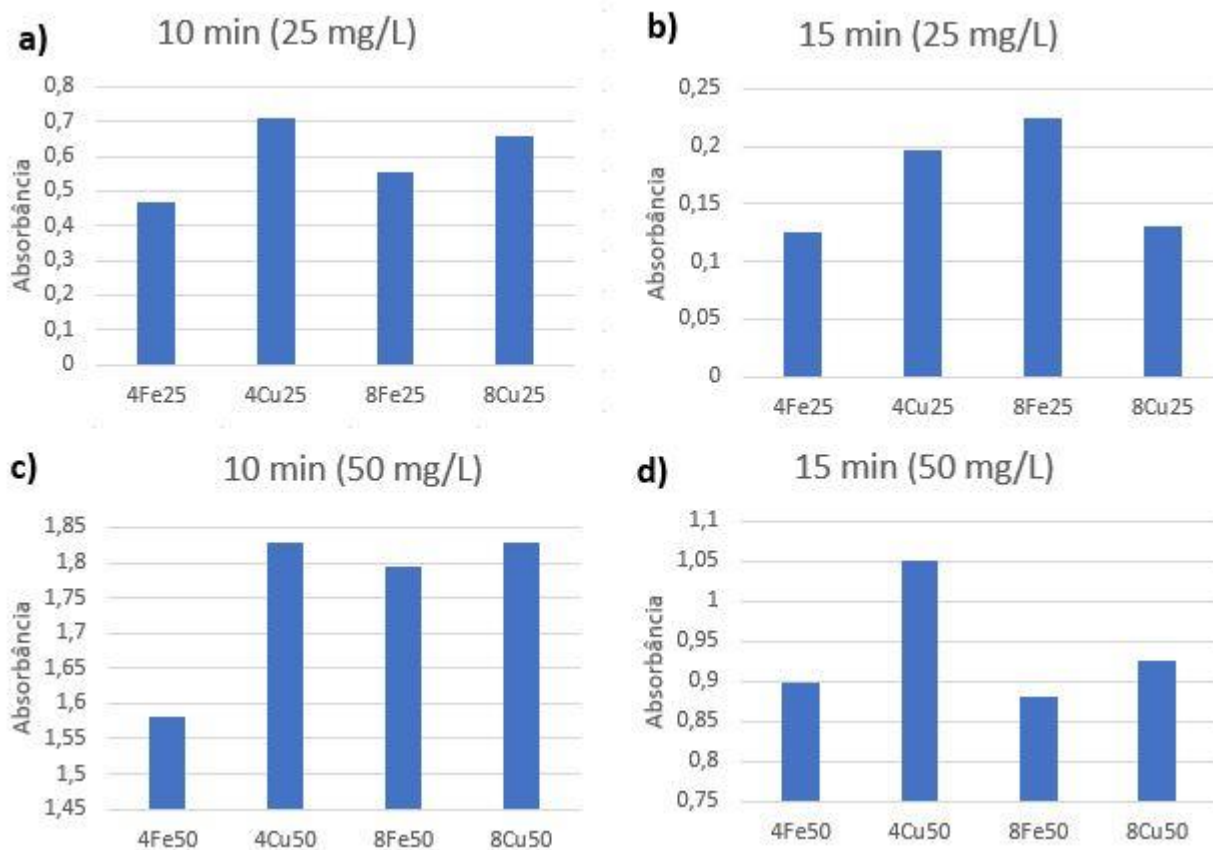
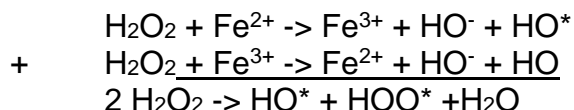


Figura 6. Gráficos apresentando a absorbância em relação ao material e distância do eletrodo **a)** Eletrodos contendo Fe tem menor absorbância **b)** Eletrodo contendo Fe e mais próximo a solução teve menor absorbância **c)** Eletrodo contendo Fe e mais próximo a solução degradou mais **d)** Eletrodos contendo Fe mostrar menor absorbância.

Na maioria das configurações testadas, a utilização do aço com eletrodo levou a resultados melhores. Esse efeito pode ser decorrente da reação de Fenton que ocorre pela liberação de íons de Ferro na solução devido à erosão do eletrodo, promovendo reações paralelas que aceleram a degradação do composto. Os íons de Ferro têm um forte poder catalítico que gera uma alta quantidade de radicais hidroxilas, como pode ser visto através das seguintes reações²⁴.



Estudos anteriores comparando materiais observou um melhor desempenho para o aço. Uma proposição para essa vantagem do aço é a liberação de íons Fe^{+2} pelo eletrodo que aceleram a degradação de compostos por reações Fenton, como descrito anteriormente. Outro estudo sugere que seja a variação de espessura entre as diferentes ponteiros ou o consumo de espécies oxidantes na própria oxidação no caso do Ni/Cr²⁶. Já uma revisão de métodos de descarga apresenta eletrodos de Titânio como materiais que aumentam a degradação de azul de metileno pela formação de peróxido de titânio pela interação das partículas do eletrodo com o

H₂O₂, semelhante ao proposto para o caso anterior com aço²⁷. No entanto, aqui eles informam que o aço prejudica a degradação do azul de metileno pela decomposição catalítica do H₂O₂ e por consumir os radicais hidroxila²⁷ divergindo da maioria da literatura encontrada^{24,28}.

A Figura 7 apresenta a eficiência de descoloração das soluções para em 665 nm em função do tempo de exposição da solução ao plasma frio.

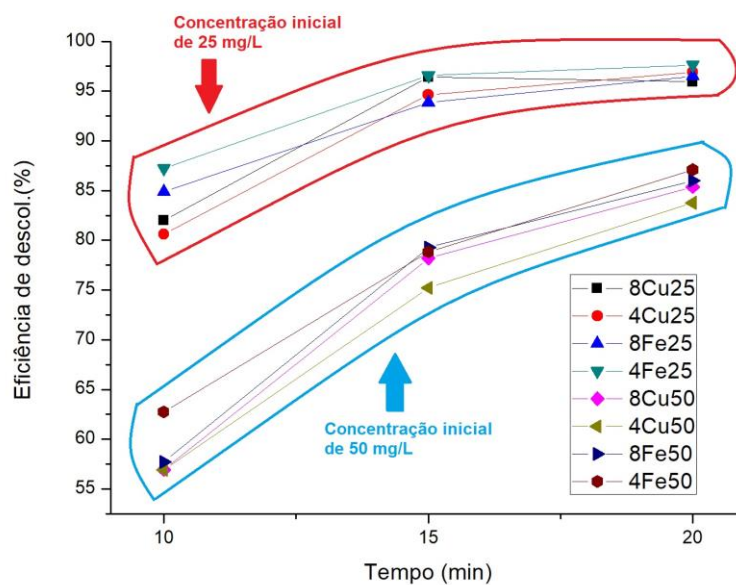


Figura 7. Eficiência de degradação ao longo do tempo.

Se observa no gráfico que o aumento do tempo de aplicação do plasma aumenta a eficiência de degradação do azul de metileno em todas as soluções. As soluções com menor concentração inicial tiveram maior eficiência na descoloração que as amostras mais concentradas. Tiya-Djowe *et al* encontraram resultado similar, porém com composto e tipo de reator diferentes²⁴. O redução da eficiência de degradação quando há maior concentração de corante está relacionada à presença de uma alta quantidade de espécies reativas em solução^{7,24}.

O relatório obtido pela análise realizada no software Minitab é apresentada a seguir na Tabela 2.

Análise de Variância

Fatores	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Tempo(min)	2	2,89628	1,44814	647,28	0,000
Concentração (mg/L)	1	3,91381	3,91381	1749,37	0,000
Material	1	0,04350	0,04350	19,45	0,002
Distância (mm)	1	0,00153	0,00153	0,69	0,429

Tempo(min)*Concentração (mg/L)	2	0,44837	0,22418	100,20	0,000
Tempo(min)*Material	2	0,01581	0,00791	3,53	0,074
Tempo(min)*Distância (mm)	2	0,00797	0,00398	1,78	0,223
Concentração (mg/L) *Material	1	0,00324	0,00324	1,45	0,259
Concentração (mg/L) *Distância (mm)	1	0,00042	0,00042	0,19	0,676
Material*Distância (mm)	1	0,02318	0,02318	10,36	0,011
Erro	9	0,02014	0,00224		
Total	23	7,37424			

Tabela 2. Relatório da ANOVA generalizada gerada pelo Minitab.

A Anova realizada nesse estudo considerou todos os parâmetros principais e as interações de 2ª ordem. No fator erro foram inclusas todas as interações acima de 2ª ordem. A tabela 2 mostra os resultados obtidos pela ANOVA e todos os fatores que apresentaram um valor P menor que 0,05 são considerados significativos. Observamos os seguintes fatores como significativos: o tempo, concentração, material e as interações tempo*concentração e material*distância.

Os efeitos principais estudados pelo método estatístico são apresentados abaixo e mostram de forma clara a significância do tempo e concentração das soluções na degradação.

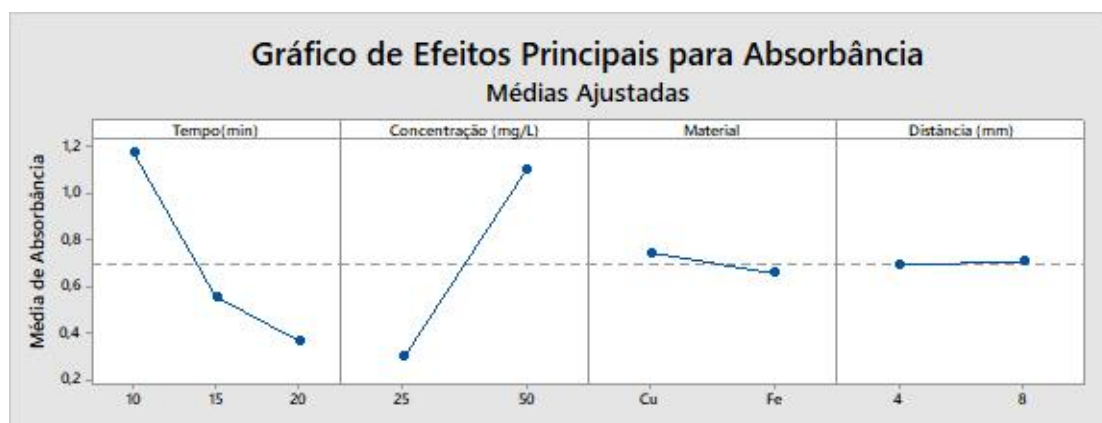


Figura 8. Compilação dos gráficos dos efeitos principais para absorbância gerados pelo software Minitab.

O material se mostra um fator significativo, no entanto tem menor relevância do que a concentração inicial e o tempo de tratamento.

Quando analisado o parâmetro distancia isoladamente, não foi possível verificar uma influência direta nos resultados, porém uma significância da interação entre distância e material foi encontrada na ANOVA, embora apresente uma relevância bem menor que os demais fatores significativos. Como não foi encontrada nenhuma referência similar na literatura é necessário desenvolver estudos mais aprofundados para ter maior confiança nesta correlação entre material e distância.

4 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi possível verificar que é possível degradar azul de metileno utilizando tratamento com plasma frio. Verificamos que ocorreu redução do pH das soluções quanto maior o tempo de tratamento com plasma. A análise estatística dos resultados mostrou que os parâmetros tempo, concentração inicial e material do eletrodo apresentam uma significativa influência na eficiência de degradação do azul de metileno. Soluções de menor concentração, tratadas durante maiores períodos e empregando eletrodo de aço se mostraram as configurações mais eficientes dentro das condições utilizadas neste trabalho.

Agradecimentos

Agradecimento aos recursos do CNPq, Capes e aos laboratórios LACOR e Laboratório de Análise de Águas da UFRGS pelo auxílio na realização dos ensaios.

REFERÊNCIAS

1. Ghaly AE, Ananthashankar R, Alhattab M, Ramakrishnan V V. Chemical Engineering & Process Technology Production , Characterization and Treatment of Textile Effluents : A Critical Review. 2017;(January 2014). doi:10.4172/2157-7048.1000182
2. Fortino P. Pós-tratamento de Efluente Têxtil Usando Coagulação/Floculação Combinado com Processos de Separação por Membranas. 2012.
3. Eren Z. Ultrasound as a basic and auxiliary process for dye remediation: A review. *J Environ Manage*. 2012;104:127-141. doi:10.1016/j.jenvman.2012.03.028
4. Guaratini CCI, Zanoni MVB. Corantes Têxteis. *Quim Nova*. 1999;23(1):71-78. doi:10.1590/S0100-4042200000100013
5. Muhammad Arif M, Abdul G, Salman Akbar M. Water purification by electrical discharges. *Plasma Sources Sci Technol*. 2001;10(1):82. doi:10.1088/0963-0252/10/1/311
6. Trapido M. Ozone-Based Advanced Oxidation Process. In: *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*.
7. Chandana L, Manoj Kumar Reddy P, Subrahmanyam C, Reddy PMK, Subrahmanyam C. Atmospheric pressure non-thermal plasma jet for the degradation of methylene blue in aqueous medium. *Chem Eng J*. 2015;282:116-122. doi:10.1016/j.cej.2015.02.027
8. Krishna S, Maslani A, Izdebski T, Horakova M, Klementova S, Spatenka P. Degradation of Verapamil hydrochloride in water by gliding arc discharge. *Chemosphere*. 2016;152:47-54. doi:10.1016/j.chemosphere.2016.02.083
9. Sillanpää M, Ncibi MC, Matilainen A. Advanced oxidation processes for the removal of natural organic matter from drinking water sources: A comprehensive review. *J Environ Manage*. 2018;208:56-76. doi:10.1016/j.jenvman.2017.12.009
10. Esplugas S, Bila DM, Krause LGT, Dezotti M. Ozonation and advanced oxidation technologies to remove endocrine disrupting chemicals (EDCs) and pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in water effluents. *J Hazard Mater*. 2007;149(3):631-642. doi:10.1016/j.jhazmat.2007.07.073
11. Brandenburg R, Bogaerts A, Bongers W, et al. White paper on the future of plasma science in environment, for gas conversion and agriculture. *Plasma Process Polym*. 2018;(December 2017):1-18. doi:10.1002/ppap.201700238
12. Pemen AJM, van Ooij PP, Beckers FJCM, et al. Power Modulator for High-Yield Production of Plasma-Activated Water. *IEEE Trans Plasma Sci*. 2017;45(10):2725-2733. doi:10.1109/TPS.2017.2739484

13. Patil BS, Hessel V, Wang Q, et al. Plasma Nitrogen Oxides Synthesis in a Milli-Scale Gliding Arc Reactor: Investigating the Electrical and Process Parameters. *Plasma Chem Plasma Process.* 2016;36(1):241-257. doi:10.1007/s11090-015-9671-4
14. Bradu C, Magureanu M, Parvulescu VI. Degradation of the chlorophenoxyacetic herbicide 2,4-D by plasma-ozonation system. *J Hazard Mater.* 2017;336:52-56. doi:10.1016/j.jhazmat.2017.04.050
15. Machala Z, Jedlovský I, Chládeková L, et al. DC discharges in atmospheric air for bio-decontamination - spectroscopic methods for mechanism identification. *Eur Phys J D.* 2009;54(2):195-204. doi:10.1140/epjd/e2009-00035-7
16. Locke BR, Sato M, Sunka P, Hoffmann MR, Chang JS. Electrohydraulic discharge and nonthermal plasma for water treatment. *Ind Eng Chem Res.* 2006;45(3):882-905. doi:10.1021/ie050981u
17. Pongráč B, Krčma F, Dostál L, Kim HH, Homola T, Machala Z. Effects of corona space charge polarity and liquid phase ion mobility on the shape and velocities of water jets in the spindle jet and precession modes of water electro-spray. *J Aerosol Sci.* 2016;101:196-206. doi:10.1016/j.jaerosci.2016.08.008
18. Bittencourt JA. *Fundamentals of Plasma.* 3ª Edição. São Paulo: Springer; 2004.
19. Jiang B, Zheng J, Qiu S, et al. Review on electrical discharge plasma technology for wastewater remediation. *Chem Eng J.* 2014;236:348-368. doi:10.1016/j.cej.2013.09.090
20. Bruggeman PJ, Kushner MJ, Locke BR, et al. Plasma-liquid interactions: A review and roadmap. *Plasma Sources Sci Technol.* 2016;25(5). doi:10.1088/0963-0252/25/5/053002
21. Janda M, Martišovits V, Machala Z. Transient spark: A dc-driven repetitively pulsed discharge and its control by electric circuit parameters. *Plasma Sources Sci Technol.* 2011;20(3). doi:10.1088/0963-0252/20/3/035015
22. Patil BS, Rovira Palau J, Hessel V, Lang J, Wang Q. Plasma Nitrogen Oxides Synthesis in a Milli-Scale Gliding Arc Reactor: Investigating the Electrical and Process Parameters. *Plasma Chem Plasma Process.* 2016;36(1):241-257. doi:10.1007/s11090-015-9671-4
23. Vanraes P, Nikiforov AY, Leys C. *Electrical Discharge in Water Treatment Technology for Micropollutant Decomposition.*; 2016.
24. Tiya-Djowe A, Acayanka E, Lontio-Nkouongfo G, Laminsi S, Gaigneaux EM. Enhanced discolouration of methyl violet 10B in a gliding arc plasma reactor by the maghemite nanoparticles used as heterogeneous catalyst. 2014.
25. Cadorin BM. Degradacao de corantes azo por plasma frio de descarga corona. 2012.
26. Marotta E, Schiorlin M, Ren X, Rea M, Paradisi C. Advanced oxidation process for degradation of aqueous phenol in a dielectric barrier discharge reactor. *Plasma Process Polym.* 2011;8(9):867-875. doi:10.1002/ppap.201100036
27. Vanraes P, Nikiforov A, Leys C. Electrical discharge in water treatment technology for micropollutant decomposition. *Plasma Sci Technol.* 2016:457-506. doi:10.5772/61830
28. Otávio L, Benetoli DB, Mena B, et al. Pyrite-enhanced methylene blue degradation in non-thermal plasma water treatment reactor. 2012;238:55-62. doi:10.1016/j.jhazmat.2012.07.067

UM ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NO TAMANHO DO GRÃO AUSTENÍTICO.

Silveira, A. C. F.¹

Zaccani, C.C.²

Simon, F. A.³

Rocha, A.S.⁴

Nunes, R. M.⁵

¹ Eng. Antonio Carlos de Figueiredo Silveira, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, figueiredo.silveira@ufrgs.br.

² Graduando em Eng. Mecânica, Calvin Chaves Zaccani, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, calvin.zaccani@ufrgs.br.

³ Graduando em Eng. Mecânica, Francisco Andre Simon, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, francisco.simon@ufrgs.br.

⁴ Prof.Dr. Alexandre da Silva Rocha, Universidade Federal do Rio Grande do Sul alexandre.rocha@ufrgs.br.

⁵ Prof. Dr. Rafael Menezes Nunes, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, rafael.nunes@ufrgs.br.

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

Resumo

O processamento termomecânico (TMP) em peças forjadas visa reduzir a cadeia de produção do componente, o consumo energético e, através da aplicação de deformações e resfriamentos controlados, a obtenção de uma microestrutura otimizada. O recente emprego de aços bainíticos avançados de resfriamento contínuo torna possível aliar as vantagens deste processo de fabricação com a formação de uma microestrutura bainítica que proporciona excelente combinação de dureza e ductilidade. O tamanho de grão austenítico (TGA) é um parâmetro de grande influência para o refino da microestrutura de aços em geral, sendo ainda necessário esclarecer qual o impacto desta característica em aços bainíticos avançados. Para isso, realizou-se uma revisão sobre a influência do TGA na microestrutura final e aplicação desses novos aços na indústria. Foi realizada a caracterização quanto a microestrutura e TGA de um aço desta classe e em seguida, ensaios para o “congelamento” de microestrutura para o estudo da influência das temperaturas de forjamento no crescimento do tamanho de grão austenítico, conforme a norma ASTM E112. A quantificação do TGA indicou que até temperaturas na faixa de 1100°C o grão se manteve constante, sofrendo crescimento significativo em temperaturas maiores e evidenciando a importância da determinação de uma temperatura de forjamento apropriada.

Palavras-chave: Aços avançados bainíticos; Tamanho de Grão Austenítico; Processamento termomecânico; Forjamento.

1 INTRODUÇÃO

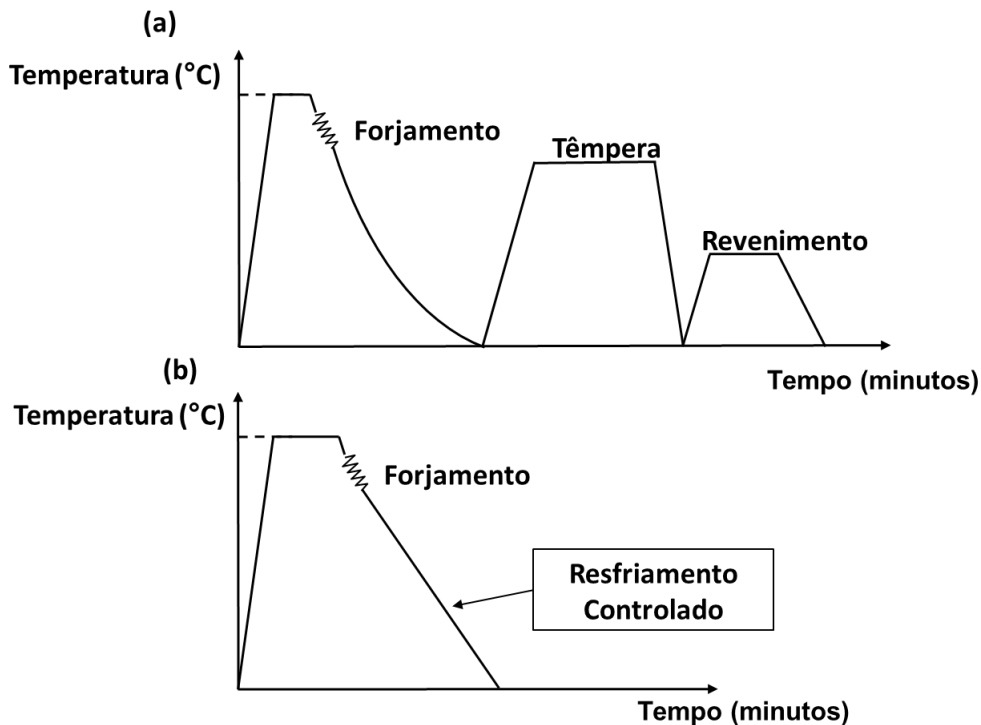
1.1 PROCESSAMENTO TERMOMECÂNICO

Como regra geral, a maioria dos componentes mecânicos críticos para a funcionalidade de um equipamento ou sistema são submetidos a algum processo de conformação a quente e de tratamento térmico. Tais processos de fabricação tem o objetivo de dar forma ao componente e obter uma microestrutura que proporcione propriedades mecânicas satisfatórias para sua aplicação. Por estes motivos, tais componentes são submetidos a vários ciclos de aquecimento compreendendo etapas de forjamento, têmpera, revenimento e alívio de tensões residuais. Conseqüentemente, uma significativa parcela do custo final de fabricação do componente é devido ao gasto energético necessário durante sua fabricação.

Em relação a economia brasileira, o setor industrial representa mais de 35% de todo gasto energético no país (EPE; MME, 2017), sendo o Brasil, o 10º colocado mundial entre os países de maior consumo de energia (CIA, 2018). Além do alto consumo, a energia no Brasil tem um alto custo. Quando comparado a outros países da América Latina o Brasil tem a maior tarifa média, 329,00 R\$/MWh (FIRJAN, 2011). Portanto os estudos de processos de fabricação alternativos, que visem a redução do consumo energético, tem um potencial de grande impacto na indústria metal mecânica e no valor final do componente mecânico.

Como forma alternativa a o processo convencional de forjamento, cita-se o processamento termomecânico (*TMP*), que visa o aproveitamento do calor necessário da etapa de forjamento para um resfriamento controlado que gere uma microestrutura desejada (ASM, 1993). A utilização deste método em escala industrial iniciou por volta de 1950 em processos de laminação (ZHAO; JIANG, 2018), sendo até o presente momento um tema de constante estudo e aprimoramento (CABALLERO; GARCIA-MATEO, 2013; VERLINDEN et al., 2007; ZHAO; JIANG, 2018).

Figura 1. Exemplo de (a) rota de forjamento convencional e (b) rota de processamento termomecânico



Fonte. Adaptado de (ASM, 1993)

Além do aproveitamento térmico do forjamento, o processamento termomecânico visa, ainda nesta etapa, a aplicação de deformações estratégicas com posterior resfriamento controlado para a otimização da microestrutura, principalmente pela capacidade de realizar um refino de grão austenítico e microestrutura após o resfriamento controlado (GUEDES, 2004).

1.2 AÇOS BAINÍTICOS AVANÇADOS

Aços bainíticos avançados foram desenvolvidos buscando suprir a crescente necessidade da indústria de desenvolver aços com elevada resistência mecânica balanceada com tenacidade e soldabilidade. Esses aços caracterizam-se por apresentarem uma baixa concentração de carbono e pela capacidade de se atingir uma microestrutura bainítica por resfriamento contínuo, sem ser necessário passar pelos processos de têmpera e revenimento (CABALLERO; GARCIA-MATEO, 2013).

No resfriamento de um aço, a bainita refere-se à microestrutura resultante da decomposição da austenita em temperaturas acima da transformação martensítica e abaixo da reação perlítica (KRAUSS, 2005). Em princípio, a bainita pode ser obtida em qualquer aço por meio de transformação isotérmica, contudo, também pode ser obtida por resfriamento contínuo em aços que

possuem elementos de liga que retardem a reação da ferrita e da perlita (BUCHMAYR, 2016).

1.3 TAMANHO DE GRÃO AUSTENÍTICO E INFLUÊNCIA NA MICROESTRUTURA FINAL

O Tamanho de Grão Austenítico (TGA) é um fator de grande importância em qualquer processo de conformação a quente. Este parâmetro indica a granulometria da austenita, cujo tamanho influencia propriedades finais do material. Um TGA grosseiro torna o material mais susceptível à propagação de trincas, além de reduzir ductilidade, resistência mecânica e ser responsável pelo surgimento de defeitos no acabamento superficial (COLPAERT, 2008).

As temperaturas empregadas no forjamento de aços de baixo e médio carbono podem variar de 1000°C até 1300°C (ASM, 1993). Nestas temperaturas, mecanismos como recuperação, recristalização e crescimento de grão ocorrem no material, afetando diretamente a granulometria da austenita no aço (VERLINDEN et al., 2007). Portanto, a compreensão destes fenômenos metalúrgicos, é importante para a determinação dos melhores parâmetros de aquecimento, tempo de aquecimento e deformações no forjamento. A Tabela 1 indica os principais mecanismos presentes durante deformações a quente e uma breve explicação sobre cada um deles.

Dependendo da temperatura do material ao fim de um processo, o fenômeno de crescimento de grão pode ser decisivo para a obtenção de uma microestrutura refinada, conseqüentemente, o conhecimento do crescimento de grão em função do tempo e temperatura torna-se importante. Além destes parâmetros, determinados elementos químicos presentes na composição do material podem ter papel fundamental no crescimento de grão e em outros fenômenos (BELLON, 1995; COLPAERT, 2008).

Embora, na maioria dos aços, não se tenha acesso à austenita para avaliá-la metalograficamente, a quantificação de tamanho de grão pode ser estabelecida por tratamentos térmicos específicos e a aplicação de reagentes químicos que revelem esta estrutura (ASTM, 2013; COLPAERT, 2008; SOUZA, 2008).

Tabela 1. Fenômenos metalúrgicos em conformação a quente

Fenômeno	Definição
Recuperação	É a primeira etapa de “amaciamento” a qual o material conformado é submetido. Nele, ocorre uma redução da energia acumulada por deformação através da aniquilação e rearranjo das discordâncias presentes no material, afetando a densidade e orientação das discordâncias e, por consequência, a dureza do material.
Recristalização	A recristalização é representada pela nucleação e crescimento de grão. Inicialmente, os grãos já deformados dão origem a novos grãos menores e livres de deformação (nucleação). Em seguida, ocorre o crescimento do tamanho destes grãos, tendo como principal consequência disto uma grande redução da dureza do material e o surgimento de uma microestrutura composta por grãos menores.
Recristalização dinâmica	Quando a recristalização ocorre durante a deformação. Ela ocorre quando o grão é deformado até uma deformação crítica, a qual fornece energia o suficiente para o início deste mecanismo.
Recristalização metadinâmica	Classificação dada quando novos grãos são nucleados durante a etapa de deformação. Porém, seu crescimento ocorre após a etapa. Como resultado deste tipo de recristalização, obtém-se uma microestrutura com grãos mais refinados do que os obtidos por recristalização dinâmica.
Crescimento de grão	Pode ser definido como o crescimento de determinados grãos à custa de outros, visando à redução da área total do contorno de grão e, por consequência, a energia armazenada. O crescimento pode ser normal, onde apenas os menores grãos são aglutinados, mantendo uma granulometria uniforme ao longo do material ou crescimento anormal, onde alguns grãos crescem até um tamanho maior do que no resto da microestrutura. O crescimento de grãos sofre grande influência da temperatura, tamanho de grão inicial, dimensões do componente metálico e partículas que tenham a capacidade de ancorar o crescimento de grão.

Fonte. Adaptado de (COSTA, 2014; GUEDES, 2004; VERLINDEN et al., 2007)

Existem diversas metodologias para a quantificação do tamanho de grão, sendo todas regidas pela norma ASTM E112. Em relação a produtos forjados e laminados a quente, o método da intercepto circular é o mais recomendado. Por se tratar de uma análise quantitativa, é necessária uma abordagem estatística a fim de garantir que o tamanho de grão determinado seja representativo do material analisado.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O material utilizado neste estudo foi o aço avançado bainítico DIN 18MnCrSiMo6-4 cuja composição química, obtida através de espectrometria de centelha, pode ser observada na Tabela 2.

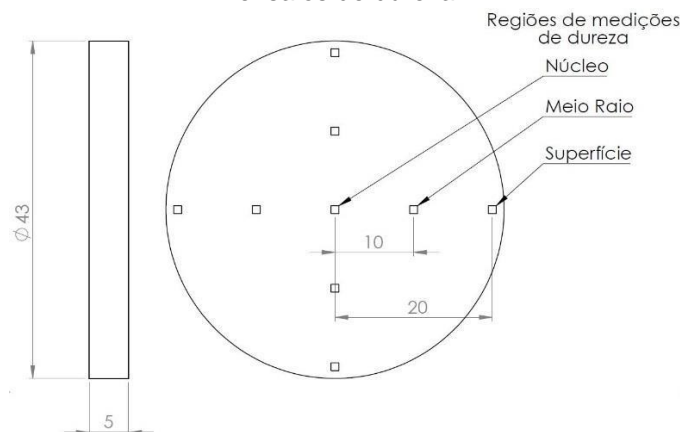
Tabela 2. Concentração dos principais elementos de liga, %massa.

C	Mn	Cr	Si	Mo
0.17	1.52	1.16	1.12	0.25

Fonte. Elaborada pelos autores.

Foram realizadas análises macrográficas, a fim de avaliar as segregações, além de durezas HRC. Os ensaios de dureza foram padronizados conforme a **Figura 2**. Amostras utilizadas para caracterização do material como recebido e regiões de ensaios de dureza. Figura 2 com o intuito de identificar a homogeneidade do material ao longo da seção.

Figura 2. Amostras utilizadas para caracterização do material como recebido e regiões de ensaios de dureza.



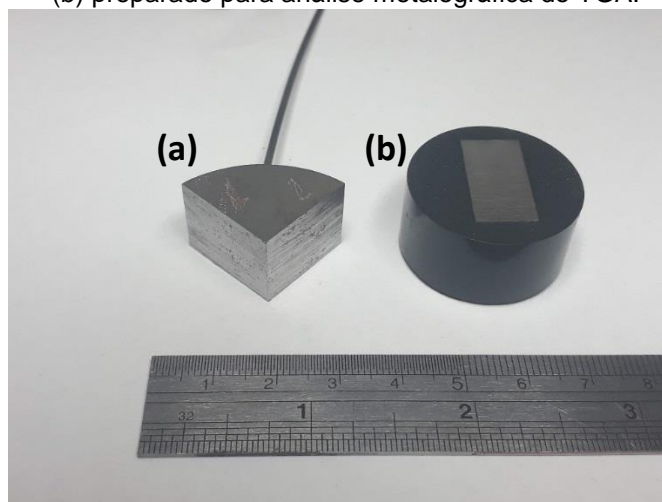
Fonte. Elaborada pelos autores.

Realizaram-se micrografias qualitativas por microscópio óptico para a identificação da microestrutura e ensaios de microdureza HV para análise mais detalhada das zonas de segregação. Empregou-se metodologia padrão de lixamento e polimento para amostras representativas na seção longitudinal e transversal do material, Figura 3. Para as macrografias empregou-se reagente Nital 10% e para as micrografias, Nital 2%.

Após esta caracterização inicial, foram preparados cinco corpos de prova do aço DIN 18MnCrSiMo6-4 na forma de um quarto de círculo com raio de 20,0 mm e espessura de 15 mm, conforme a Figura 3. Este formato foi escolhido por ser representativo de todo material como recebido e com espessura fina afim de reduzir grandes gradientes de temperatura durante aquecimento e resfriamento. Em todos os ciclos térmicos, foi inserido no forno com as amostras um padrão

de mesmo formato e material, instrumentado, com o objetivo de monitorar a taxa de aquecimento do material.

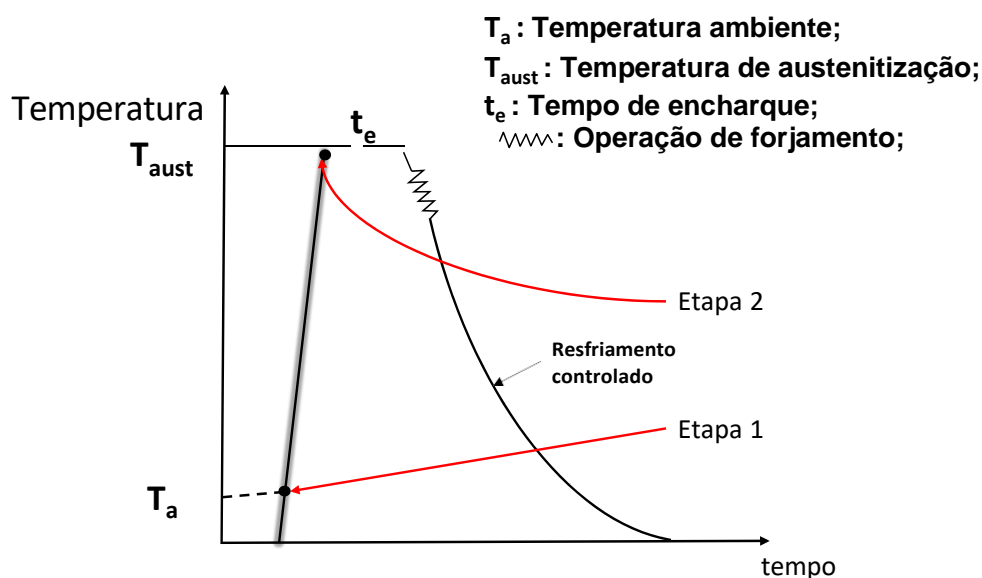
Figura 3. Corpos de prova utilizados na análise de TGA. (a) instrumentado com termopar, (b) preparado para análise metalográfica do TGA.



Fonte. Elaborada pelos autores.

O trabalho consistiu em analisar o TGA em dois estágios de um processamento termomecânico, conforme Figura 4.

Figura 4. Etapas de análise do TGA em um processamento termomecânico.



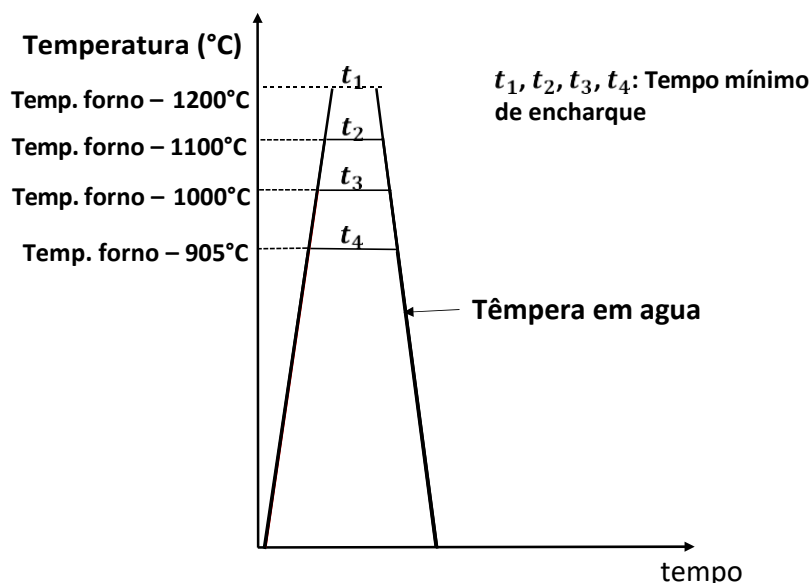
Fonte. Elaborada pelos autores.

Na primeira etapa do estudo, realizou-se a caracterização do material conforme recebido quanto ao tamanho de grão inicial. Nela, o forno elétrico resistivo foi mantido a 905°C por cerca de 15 minutos para a estabilização da temperatura em seu interior. Após, o corpo de prova e o padrão instrumentado foram colocados no interior do forno com a mesma distância das resistências

elétricas, para produzir um aquecimento semelhante em ambas. Imediatamente após o núcleo da amostra atingir a temperatura crítica de completa austenitização foi realizada a têmpera em água, visando o congelamento da microestrutura.

Na segunda etapa, os corpos de prova foram aquecidos em três temperaturas: 1000°C, 1100°C, 1200°C pelo tempo mínimo necessário para o núcleo da peça atingir a temperatura determinada (tempo mínimo de encharque) com o intuito de analisar a influência de temperaturas de aquecimento para forjamento no TGA.

Figura 5. Ciclo térmico da segunda etapa para análise da influência da temperatura no TGA.



Fonte. Elaborado pelos autores.

A revelação do tamanho de grão austenítico foi realizado por meio de um reagente químico composto por 75 ml de água destilada, 3 g de ácido pícrico e 55 ml de agente tenso-ativo. A aplicação do reagente foi em temperatura ambiente, via esfregamento, por cerca de 5 minutos.

Cada amostra foi analisada em três regiões separadas: superfície, meio raio e núcleo, referentes às mesmas regiões do material como recebido com objetivo de investigar a influência da zona de segregação no TGA. A aquisição das imagens foi por meio de microscópio óptico, Olympus GX30, com magnificação de 200x. A quantificação dos grãos foi realizada pelo método da intersecção circular através do *Software* OmniMet 9.8, conforme as equações de 1 a 5:

$$ASTM = -6,643856 \cdot \log_{10} \left(\frac{G}{1000} \right) \cdot 3,288 \quad (1)$$

Onde:

$$G = \frac{\pi \cdot r}{l}$$

r: Raio do círculo de medição

l: número de intersecções contados

2.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para uma correta quantificação do tamanho de grão austenítico, aplicou-se uma metodologia estatística conforme se segue. A análise se torna iterativa, até se obter um número suficiente de quantificações as quais indiquem um erro relativo inferior a 10 por cento (ASTM, 2013).

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} \quad (2)$$

Onde:

\bar{X} Média das medições.

X_i : Uma medição de grão.

n : número de medições.

$$s = \sqrt{\left[\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1} \right]} \quad (3)$$

Onde:

S: Desvio padrão

$$95\% IC = \frac{t \cdot s}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

Onde:

t: Valor de student

IC: Intervalo de confiança

$$\% ER = \frac{95\% IC}{\bar{X}} \cdot 100 \quad (5)$$

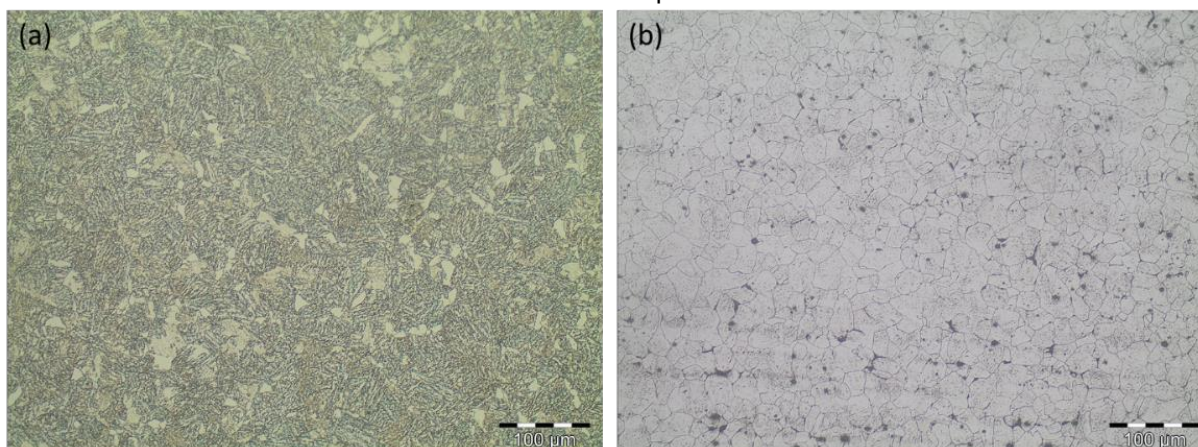
Onde:

ER: Erro relativo

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise do material como recebido revelou uma estrutura composta majoritariamente de bainita granular e ferrita, conforme Figura 6.

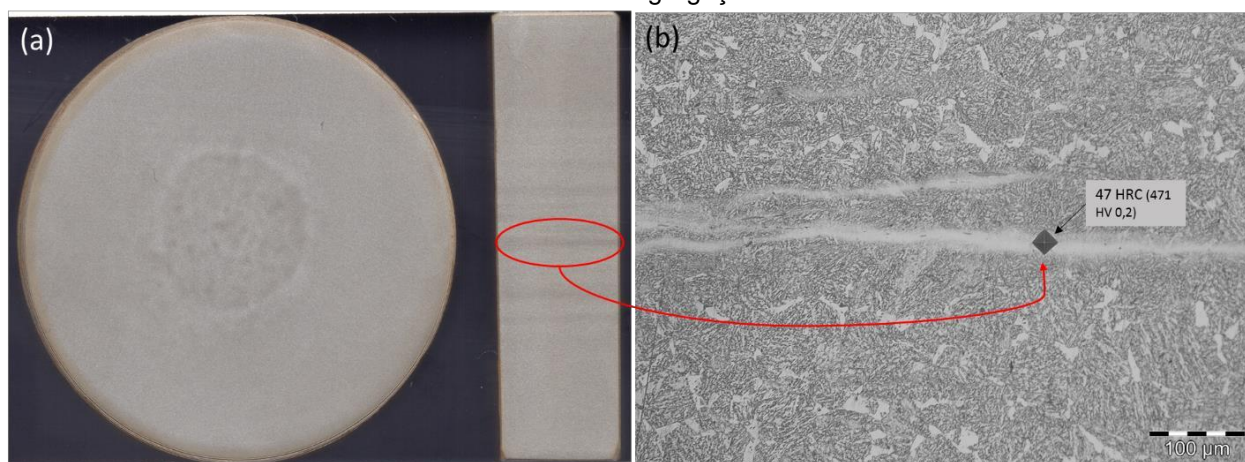
Figura 6. (a) Microestrutura do aço DIN 18MnCrSiMo6-4 como recebido e (b) tamanho de grão austenítico correspondente.



Fonte. Elaborada pelos autores.

Esta microestrutura bainítica é característica de resfriamento contínuo em aços com teor de carbono baixo (BHADESHIA, 2001; CABALLERO; GARCIA-MATEO, 2013; ZAJAC; SCHWINN; TACKE, 2005). O material apresentou um TGA de 23,50 μm , sem variações significativas entre superfície, meio raio, núcleo e sem a presença de crescimento anormal de grãos. Os resultados de dureza, Tabela 3, não evidenciaram variações macroscópicas significativas.

Figura 7. Zona de segregação macroscópicas e variação de microestrutura e dureza nas bandas de segregação



Fonte: Elaborada pelos autores

Tabela 3. Resultados de Dureza HRC amostra transversal.

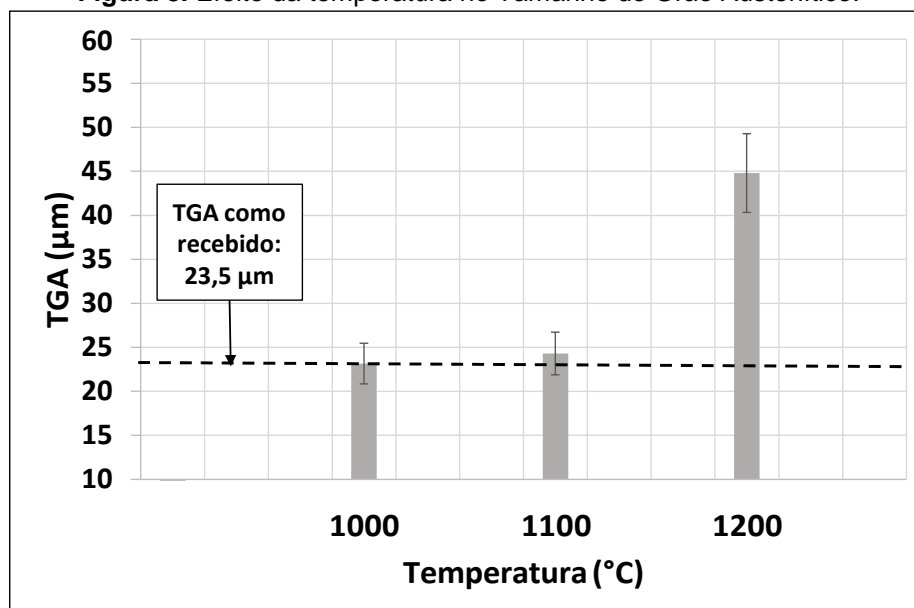
Durezas Hardness Rockwell C		
Superfície	Meio Raio	Núcleo
33	33	32

Fonte. Elaborada pelos autores.

Apesar da uniformidade das durezas, o material apresentou zonas de segregações na região do núcleo, ao longo da seção longitudinal da barra como recebida. Estas bandas de segregação apresentaram dureza muito superior quando comparada a microestrutura base. Tais segregações são comuns em aços com teor significativo de manganês, comprometendo a tenacidade do material (BHADESHIA, 2015).

A temperatura de aquecimento para o forjamento, conforme Figura 8, indica que à temperaturas superiores a 1100 °C, o efeito de crescimento de grão torna-se muito significativo, atingindo o dobro do TGA inicial quando aquecido a 1200°C. Em temperaturas de austenitização mais baixa, a presença de precipitados nos contornos de grão austenítico funcionam como uma barreira para o crescimento de grão. Conforme a temperatura de austenitização aumenta, tais precipitados acabam por se dissolver na austenita. Desta forma, além do maior nível de energia devido a temperatura, os grãos austenítico tem menos restrições ao seu crescimento (DU; LI; ZHENG, 2016; WANG et al., 2013).

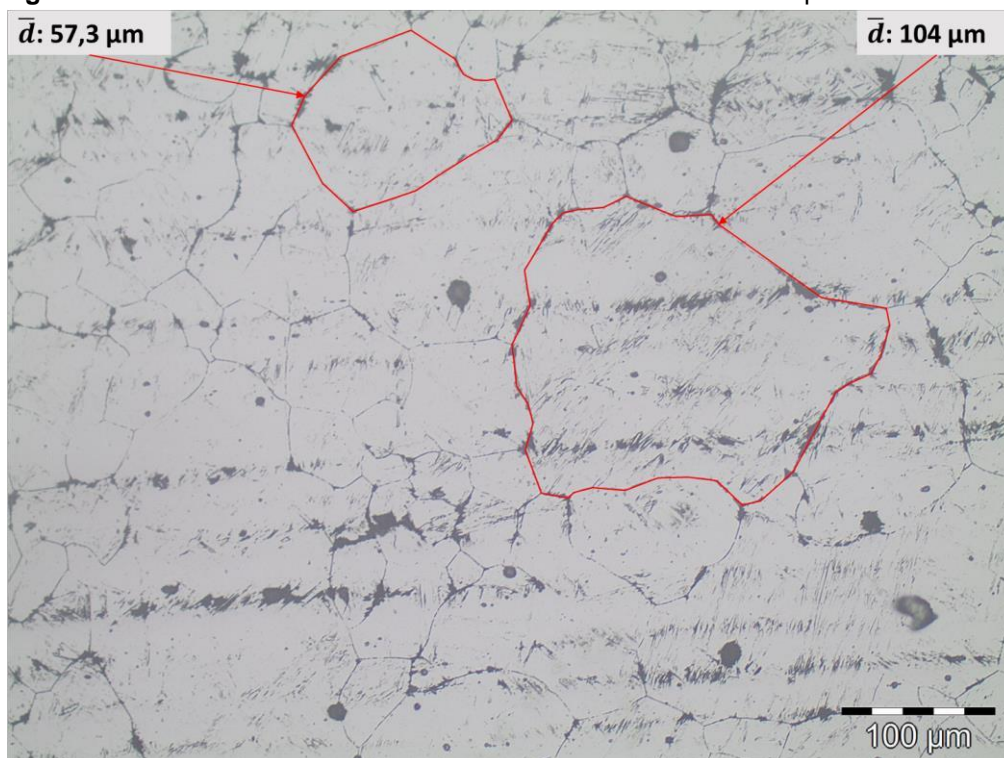
Figura 8. Efeito da temperatura no Tamanho de Grão Austenítico.



Fonte. Elaborada pelos autores.

Além da granulação grosseira apresentada pelo material à 1200 °C, foi identificado grãos de tamanho muito superior em relação à média, Figura 9, evidenciando o crescimento anormal de grãos nesta temperatura.

Figura 9. Grão austenítico anormal na microestrutura do material aquecido a 1200 °C.



Fonte. Elaborada pelos autores.

4 CONCLUSÃO

Através dos resultados foi possível realizar as seguintes conclusões:

- O material apresentou microestrutura como recebido composta majoritariamente por bainita granular e ferrita, tendo no centro do material uma região com segregação.
- A região de segregação apresentou uma dureza muito superior ao resto do material, sendo importante a sua consideração em aplicações do material.
- A temperatura mostrou-se um fator impactante no efeito de crescimento de grão, sendo a temperatura de 1200°C a que mais contribuiu para o crescimento.
- Até temperaturas de 1100 °C não houve variação significativa do TGA, indicando que a aplicação destes parâmetros para a etapa de forjamento do material tem a possibilidade de resultar em um maior refino microestrutural.
- Além do maior crescimento na temperatura de 1200°C, observou-se o crescimento de grãos anormais, tornando a microestrutura grosseira e não homogênea.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – nº Processo 88887.142483/2017-00 e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil (CNPq) através das bolsas 167149/2017-2, 147805/2018-0 e 126145/2018-0. Os autores agradecem também o Laboratório de Fundição – LAFUN – UFRGS e Laboratório de Transformação Mecânica – LdTM – UFRGS pela disponibilidade de seus equipamentos.

REFERÊNCIAS

- ASM, I. H. C. **Volume 14: Forming and Forging**. 9. ed. Novelty, Ohio: ASM International Handbook Committee, 1993. v. 14
- ASTM, A. S. for T. and M. ASTM E112-13: Standard test methods for determining average grain size. **ASTM International**, [s. l.], p. 1–28, 2013.
- BELLON, J. C. **Aplicação de Tratamento Termomecânico a um Aço Bainítico Microligado com Nióbio, Titânio e Boro**. 1995. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1995.
- BHADESHIA, H. K. D. H. **Bainite in Steels**. Cambridge: IOM Communications Ltd, 2001.
- BHADESHIA, H. K. D. H. **Bainite in steels**. 3. ed. Cambridge: Maney Publishing, 2015. Disponível em: <http://www.phase-trans.msm.cam.ac.uk/2018/Bainite_3.pdf>
- BUCHMAYR, B. Critical Assessment 22: bainitic forging steels. **Materials Science and Technology**, [s. l.], v. 32, n. 6, p. 517–522, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/02670836.2015.1114272>>

CABALLERO, F. G.; GARCIA-MATEO, C. **New Advanced Ultra High Strength Bainitic Steels : Ductility and Formability**. 1. ed. Luxembourg, Luxembourg: Publication office of the european union, 2013. Disponível em: <<https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/9f8dc6ba-d882-48da-9b7b-aa8d7f00dd24>>

CIA, C. I. A. **The World Factbook**Cia. Washington, DC. Disponível em: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/print/country/countrypdf_us.pdf>.

COLPAERT, H. Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns. In: ANDRÉ LUIZ V. DA COSTA E SILVA (Ed.). **livro**. 4. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2008. p. 1–652.

COSTA, L. D. L. De. **EFEITO DE DIFERENTES CICLOS TERMOMECÂNICOS NO COMPORTAMENTO MICROESTRUTURAL DO AÇO ABNT 4140 EFEITO DE DIFERENTES CICLOS TERMOMECÂNICOS NO COMPORTAMENTO MICROESTRUTURAL DO AÇO ABNT 4140**. 2014. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2014.

DU, S.; LI, Y.; ZHENG, Y. Kinetics of Austenite Grain Growth During Heating and Its Influence on Hot Deformation of LZ50 Steel. **Journal of Materials Engineering and Performance**, Taiyuan, v. 25, n. 7, p. 2661–2669, 2016. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s11665-016-2162-9>>

EPE, E. de P. E.; MME, M. das M. e E. **Consumo anual de energia elétrica por classe (nacional) – 1995-2017**Ministério de Minas e Energia - EPE. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia - MME, 2017. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/mercado/Paginas/Consumonacionaldeenergiaelétricaporclasse-1995-2009.aspx>>.

FIRJAN, F. das I. do E. do R. de J. Quanto custa a energia elétrica para a indústria no Brasil? Rio de Janeiro, p. 1–31, 2011.

GUEDES, L. H. **Ultra-refinamento de grãos em um aço baixo carbono através de tratamentos termomecânicos**. 2004. Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, São Carlos, 2004.

KRAUSS, G. **Steels: Processing, Structure, and Performance**. 3. ed. Novelty, Ohio: ASM International, 2005.

SOUZA, G. A. **CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DE UM AÇO MÉDIO CARBONO E BAIXA LIGA (COM ESTRUTURA BAINÍTICA / MARTENSÍTICA) VIA MICROSCOPIA ÓPTICA** Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá , Universidade Estadual Paulista , para a ob. 2008. Guaratinguetá, 2008.

VERLINDEN, B. et al. **Thermo-mechanical processing of metallic materials**. 1. ed. Cambridge. Disponível em: <<http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=VE20YVDTBZUC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Thermo-Mechanical+Processing+of+Metallic+Materials&ots=OZR037YhYW&sig=hXnS-B24nyuFiqO3-Hlx4QY-rBg%5Cnhttp://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=VE20YVDTBZUC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Thermo-m>>

WANG, L. et al. Austenite Grain Growth Behavior of AISI 4140 Alloy Steel. **Advances in Mechanical Engineering**, Wuhan, v. 5, p. 762890, 2013. Disponível em: <<http://journals.sagepub.com/doi/10.1155/2013/762890>>

ZAJAC, S.; SCHWINN, V.; TACKE, K. H. Characterisation and Quantification of Complex Bainitic

Microstructures in High and Ultra-High Strength Linepipe Steels. **Materials Science Forum**, [s. l.], v. 500–501, p. 387–394, 2005. Disponível em: <<https://www.scientific.net/MSF.500-501.387>>

ZHAO, J.; JIANG, Z. Thermomechanical processing of advanced high strength steels. **Progress in Materials Science**, New South Wales, v. 94, p. 174–242, 2018. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0079642518300124>>

COMPARAÇÃO ENTRE DOIS SISTEMAS DE RESFRIAMENTO PARA REDUÇÃO DE FALHAS POR FADIGA TÉRMICA EM MOLDE DE INJEÇÃO DE ALUMÍNIO

Camargo, S. A.¹
Romeiro, L.C.²

¹ Engenheiro Mecânico, Sergio Antonio Camargo, Unisinos, camargo.sergio@yahoo.com.br.

² Engenheiro Metalúrgico, Ms. Lauro Correa Romeiro, Professor Graduação em Engenharia Mecânica, Unisinos, laurocr@unisinos.br.

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

Resumo

O presente trabalho consiste em comparar dois sistemas de resfriamentos utilizados em moldes. Ele compara um sistema helicoidal e um sistema em cascata. O projeto helicoidal proposto incluiu alteração na quantidade e geometria dos canais de resfriamento do macho, o qual permitiu um aumento de sua área de troca térmica, assim como um aumento da vazão e da temperatura do fluido de resfriamento. A proposta foi executada por meio de simulações, tendo como apoio o software ANSYS. Os resultados obtidos demonstraram que houve melhora significativa com o sistema helicoidal, quanto a vida útil dos machos no que concerne a falhas por fadiga térmica. Foi obtido como previsão teórica, um aumento do número de ciclos para que se inicie uma trinca por fadiga térmica, de 8400 para aproximadamente 91000 ciclos.

Palavras-chave: Fadiga térmica. Molde de injeção de alumínio. ANSYS. Goodman.

COMPARISON BETWEEN TWO COOLING SYSTEMS TO REDUCE FAULTS BY THERMAL FATIGUE IN ALUMINUM INJECTION MOLD

Abstract

The present work consists of comparing two cooling systems used in molds. It compares a helical system and a cascade system. The proposed helical design included a change in the quantity and geometry of the male cooling channels, which allowed an increase of its thermal exchange area, as well as an increase in the flow rate and the temperature of the cooling fluid. The proposal was executed through simulations, with the support of ANSYS software. The results showed that there was a significant improvement with the helical system, as well as the useful life of the males with regard to failures due to thermal fatigue. It was obtained as theoretical prediction, an increase in the number of cycles to start a thermal fatigue crack, of 8400 for approximately 91000 cycles.

Keywords: Thermal fatigue. Aluminum injection mold. ANSYS. Goodman.

1 INTRODUÇÃO

Os machos assim como os moldes de injeção de alumínio são submetidos a condições muito severas de trabalho, principalmente devido às grandes variações de temperatura durante operação. Com isso, as tensões e desgastes naturais

provocados pelo processo de injeção levam os mesmos a trincarem por fadiga. Os componentes do molde, do presente estudo, são construídos em aço DIEVAR e tratados termicamente para adquirir dureza próxima de 44 Rockwell C, passam por processo de nitretação e posterior adição de uma camada de PVD.

1.1 MOLDE DE INJEÇÃO E MACHO

Um molde de injeção pode ser considerado um trocador de calor onde predominam a condução e a convecção (BASSO, 2013)⁽¹⁾. A Figura 1 ilustra os meios de transportes de calor presentes em um molde. As cavidades e machos mantêm contato direto com o material injetado e estão sujeitos a sofrerem maior aquecimento, desgaste e o aparecimento de trincas (CRUZ, 2002)⁽²⁾.

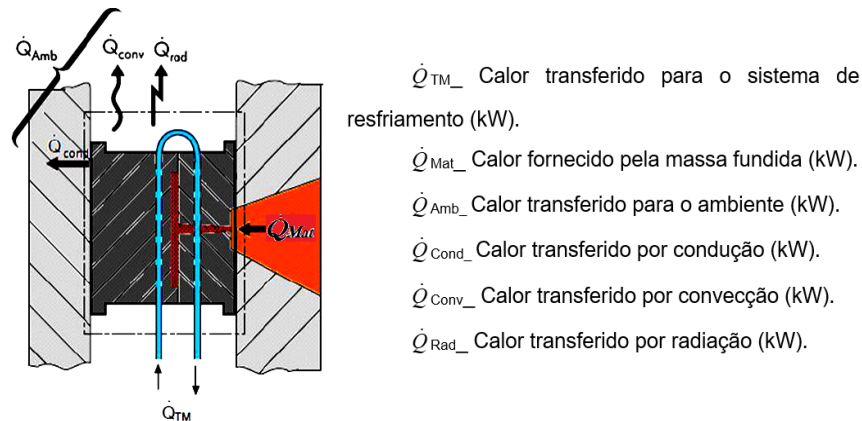


Figura 1. Transporte térmico em um molde de injeção. Fonte: Basso (2013, p. 91).

Na Figura 2, estão ilustradas as principais partes de um macho de molde de injeção de alumínio. As partes numeradas “3” e “4” representam respectivamente as conexões para entrada e saída do fluido de resfriamento.

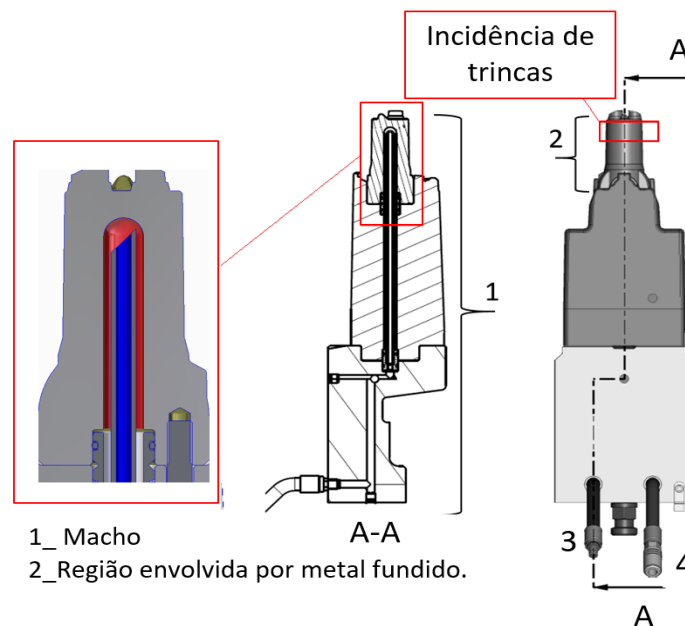


Figura 2. Principais partes de um macho de molde. Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Os sistemas de resfriamentos dos moldes têm um papel muito importante com relação as variações térmicas que levam a falha por fadiga. Existem sete tipos de sistemas de resfriamento em moldes. São estes: em linha, circular, serpentina ou helicoidal, lâmina ou “baffle”, cascata ou “bubbler”, pino térmico e adaptado ao contorno da peça (SACCHELLI, 2007)⁽³⁾.

A Figura 3(A), (BASSO, 2013)⁽¹⁾, apresenta um esquema de um sistema de resfriamento em cascata, na Figura 3(B) está representado um circuito de resfriamento helicoidal. Neste circuito, é utilizado um sistema de espiral onde o fluido é conduzido até a ponta do macho e retorna por um circuito lateral em forma de hélice usinado na sua lateral.

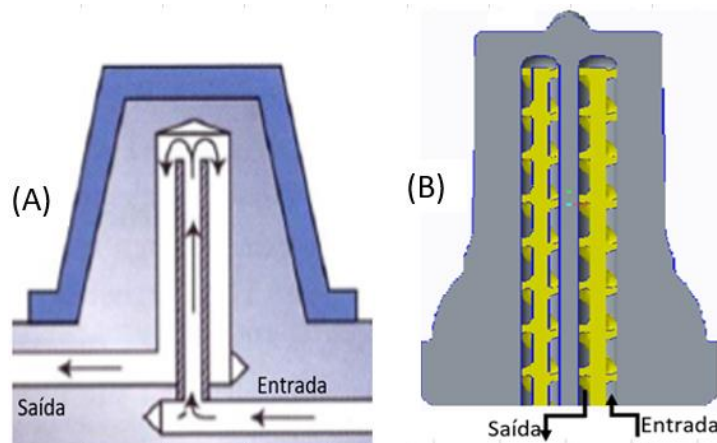


Figura 3. Circuitos de resfriamento. (A) Cascata, (B) Helicoidal. Fonte: Basso (2013, p. 28).

1.2 PROCESSO DE FADIGA EM MOLDES

Com o aquecimento, devido ao processo de injeção, a superfície da cavidade do molde sofre uma expansão volumétrica e resultando assim, em um estado de tensão compressivo. Durante o resfriamento subsequente, o material irá então se deformar sob estado de tensão trativo e em uma temperatura de menor ductilidade. Dependendo do nível destas tensões e do número de ciclos, podem então surgir as trincas de fadiga térmica (FERREIRA, 2001)⁽⁴⁾. A Figura 4, Muhic (2010)⁽⁵⁾, demonstra algumas proporções atingidas por trincas em uma superfície de molde. Na Figura 5 está demonstrado as proporções de uma trinca que ocorreu em macho de molde de injeção de alumínio. Na mesma imagem, o círculo no centro identificado pelo número “2”, mostra o canal onde circulava a água de resfriamento. O círculo externo, marcado pelo número “1” indica a região que fica envolvida pelo alumínio fundido.

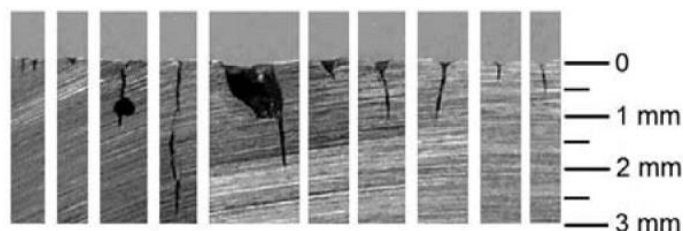


Figura 4. Trinca por fadiga térmica em superfície de molde. Fonte: Muhic (2010, p. 4).

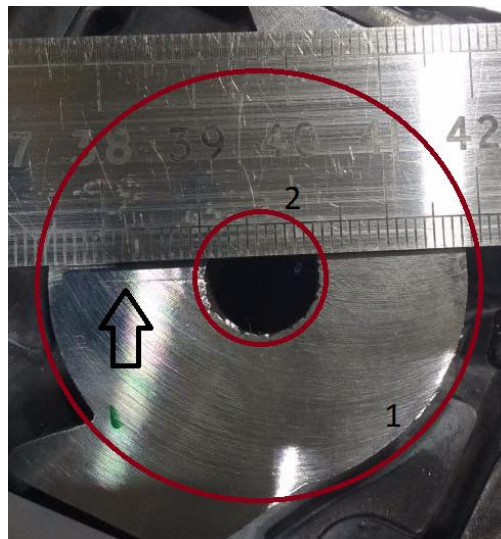


Figura 5. Trinca em um macho resfriado com água. Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Para condições com gradientes térmicos, foi derivada uma fórmula para encontrar as tensões. Ela leva em conta que em um componente existe uma diferença de temperatura entre duas superfícies, uma submetida a aquecimento e outra submetida ao processo de resfriamento (SABHARWAL, 1969)⁽⁵⁾.

$$\sigma = -\frac{m.E}{m-1}.\alpha.(T_1 - T_2) \quad (1)$$

Onde:

σ _Tensão (MPa).

M _ (1/Coefficiente de Poisson do material)= 10/3 para aços.

A _ Coeficiente de dilatação o linear do material ($12,6.10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ para o aço).

E _ Módulo de elasticidade do material (valor médio, 206800 MPa).

T_2 _ Temperatura no limite/face superior ($^{\circ}\text{C}$).

T_1 _ Temperatura no limite/face inferior ($^{\circ}\text{C}$).

De acordo com Norton (2013)⁽⁷⁾, para o cálculo do número de ciclos (N), leva-se em conta a tensão alternada (σ_a) que é o resultado da média da diferença das tensões máximas (σ_{max}) e mínimas (σ_{min}) em um ciclo de processo. (N) indica o número de ciclos para que se inicie uma trinca por fadiga. O método de cálculo para a vida em fadiga, leva também em conta, as condições geométricas no modelo proposto por Goodman.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o estudo das tensões térmicas é necessário conhecer o perfil térmico do molde antes e durante o processo de injeção, pois neste intervalo, a temperatura de algumas regiões passam de um estado inferior para um estado de temperaturas mais elevadas.

Foram estudados dois casos, um modelo em cascata que atualmente é utilizado, indicado na Figura 6 como “*Teste 1*”, e um modelo proposto, um sistema helicoidal, com a geometria dos canais de resfriamento alterada, indicado na Figura 6 como “*Teste 2*”.

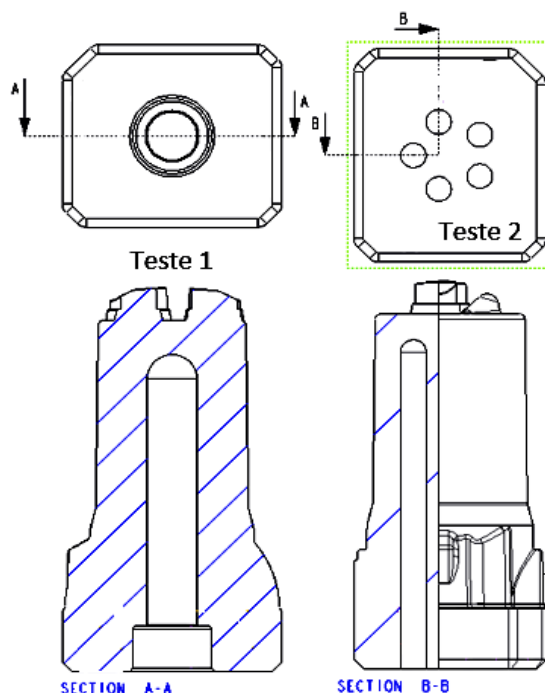


Figura 6. “Teste 1” (modelo atual). “Teste 2” (modelo proposto). Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

O modelo do “Teste 1” da Figura 6 tem como área de resfriamento 55 cm². No modelo proposto, “Teste 2”, foram inseridos 5 furos e um circuito helicoidal, semelhante ao da figura 3(B), com área de troca térmica de 170 cm². Foi utilizada a água como fluido de resfriamento. A Tabela 1 resume as condições e as diferenças do projeto e processos da condição atual e proposto. No “Teste 1” foi testada a circulação de 1,5 l/min e 50°C na entrada.

No “Teste 2” foi testada a circulação de 4,8 l/min e com temperatura de entrada de 180°C. O objetivo das diferenças entre os dois sistemas de resfriamento foi de diminuir o gradiente térmico através da parede do macho. O tempo de permanência do metal injetado dentro do molde é de aproximadamente 8 segundos e isso representa uma taxa de calor de 10 kW que é fornecido do metal fundido para o componente do molde. A espessura mínima de parede foi mantida em 8 mm para o modelo do “teste 2” e 15 mm para o modelo do “teste 1”. As simulações foram realizadas no Software ANSYS Fluent.

Tabela 1. Condições dos testes para simulação térmica.

Teste	Geometria		Fluído	
	Nº Canais	Área de Troca Térmica (cm ²)	Vazão l/min	Temp. de Entrada (°C)
1 (Casata)	1	55	1,5	50
2 (Helicoidal)	5	170	4,8	180

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 TESTE 1

Os perfis térmicos do teste 1 encontram-se na Figura 7, onde o segmento de reta orientado pelas extremidades “1” e “2” indicam o gradiente de temperaturas através da parede do macho. As diferenças de temperaturas antes e após processo de injeção ficam mais claras no Gráfico 1.

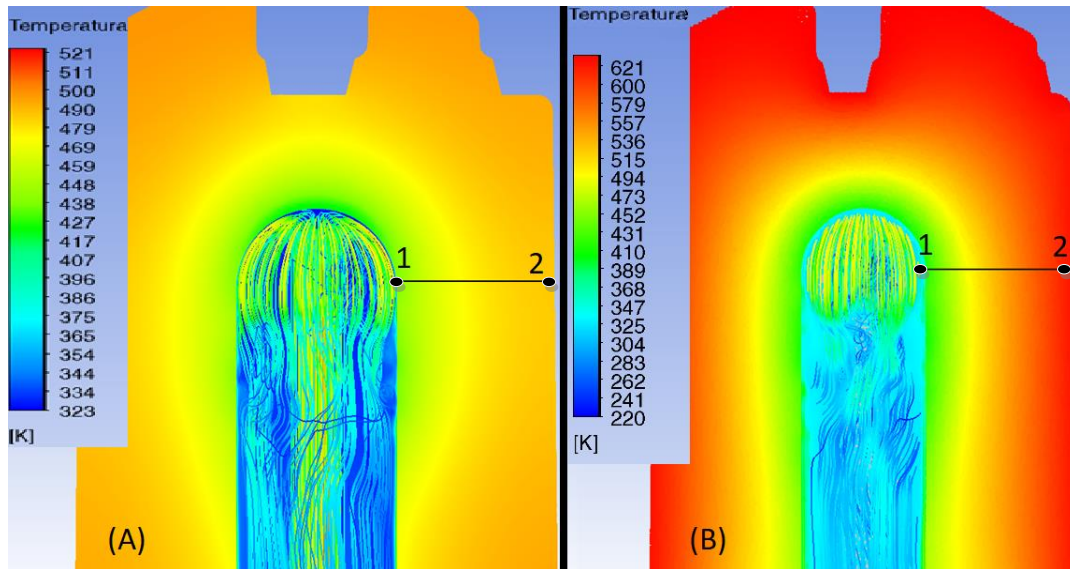
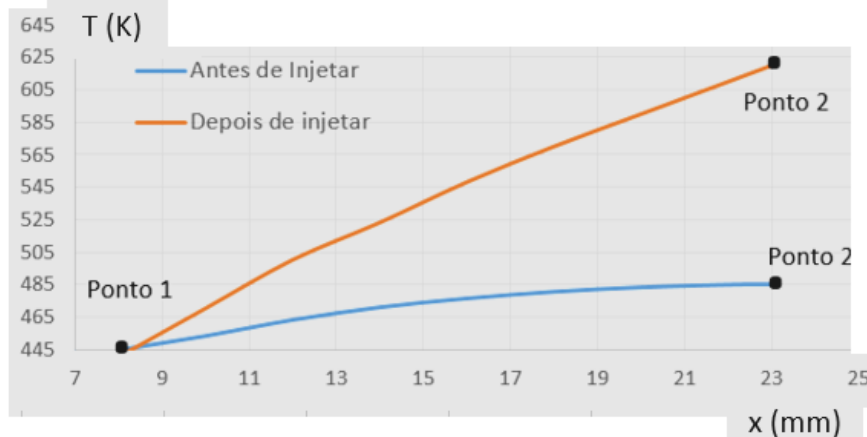


Figura 7. Temperaturas antes (A) e depois (B) do processo de injeção. Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Gráfico 1. Gradiente térmico através da parede do macho antes e após a injeção.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

As tensões provenientes do carregamento térmico são de aproximadamente 111 MPa para antes do processo de injeção e, de 346 MPa durante o processo.

3.2 TESTE 2

Para o “teste 2”, foram encontradas as seguintes condições térmicas antes do processo de injeção, dispostas na Figura 8(A). Nela foram encontradas na parede

interna, onde circula a água de resfriamento, a temperatura de 207°C e na parede externa 229°C.

As temperaturas interna e externa encontradas durante o processo de injeção são, aproximadamente, 251°C e 305°C, indicadas na figura 8(B). O Gráfico 2 apresenta o gradiente térmico encontrado na seção de parede do segmento 1 e 2 da figura 8.

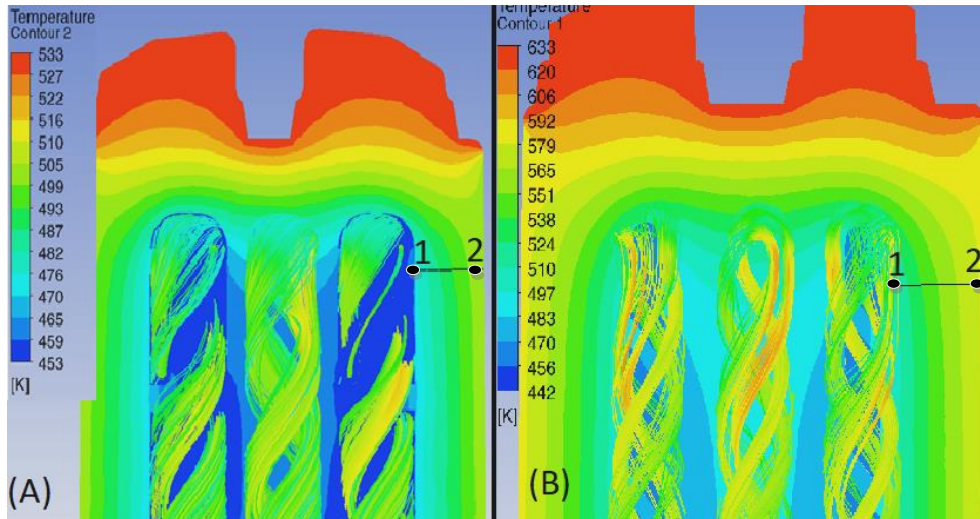
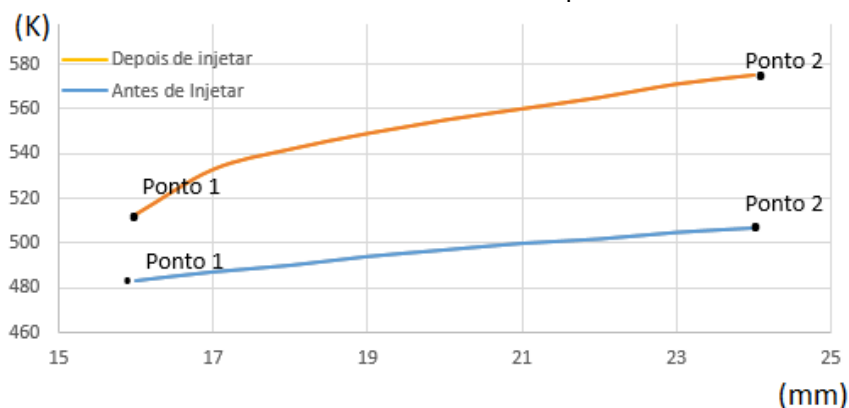


Figura 8. Temperaturas antes (A) e depois (B) do processo de injeção. Fonte: Elab. pelo autor (2018).

Gráfico 2. Gradiente térmico através da parede do macho.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

As tensões provenientes do carregamento térmico são de aproximadamente 82 MPa para antes do processo de injeção e, de 201 MPa durante o processo.

As extremidades das linhas “azul” e “laranja” dos Gráficos 1 e 2, correspondem às temperaturas internas, “ponto 1”, e externa, “ponto 2”. Elas indicam as temperaturas antes do processo de injeção e subsequente ao processo. Com elas, é possível calcular as tensões provenientes do carregamento térmico.

O incremento de área do sistema de resfriamento helicoidal (teste) possibilitou o aumento da vazão de 1,5 litros por minuto para 4,8 litros por minuto e um incremento de 130°C na temperatura da água de resfriamento.

Levando em conta estas alterações, o componente resfriado diminuiu o gradiente térmico, que anteriormente era de 93°C, passando para 54 °C, um decréscimo de 42% em relação ao sistema de resfriamento em cascata. Com isso, as tensões provenientes das condições térmicas também diminuíram, a tensão que

atingia valores da ordem de 234,5 MPa passou para 119,1 MPa, um decréscimo de 49%. Resultando assim, em um aumento significativo na vida em fadiga.

REFERENCIAS

- 1 Basso, Evair José. Análise comparativa entre sistemas de refrigeração de moldes de injeção. 2013. 91 f. Caxias do Sul. Universidade de Caxias do Sul.
- 2 Cruz, Sergio da. Moldes de injeção. 2ª edição revista e ampliada. Editora Hemus. 2002.
- 3 SACCHELLI, C. M. (2007). Sistematização do processo de desenvolvimento integrado de moldes de injeção de termoplásticos. Tese de Doutorado (Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2007. 305 f.
- 4 Ferreira, Gustavo Emiliano Falcão. Avaliação da resistência à fadiga térmica do aço AISI H13 nitretado pelos processos gasoso e por plasma. 2001. 97 f. Dissertação de mestrado (Engenharia de Materiais). Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina.
- 5 MUHIC, M.; TUSEK, J.; KOSEL, F.; KLOBCAR, D.; PLETESKI, M. THERMAL FATIGUE CRACKING OF DIE-CASTING DIES. Traduzido do Inglês. 2010. 4 f. Artigo. METALURGIJA 49 (2010) 1, 9-12. 2010.
- 6 SABHARWAL, Kulwant Singh. Thermal Fatigue Testing of die Casting Die Steels. 1969. 146 f. Tese de Mestrado (Engenharia Metalúrgica). THE UNIVERSITY OF MISSOURI-ROLLA. 1969. Disponível em:
<https://scholarsmine.mst.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=7966&context=masters_theses>.
- 7 NORTON, Robert L. Projetos de Máquinas: Uma Abordagem Integrada. 4º Edição, Ed. Bookman. 2013.

EFEITO DE ROTAS DE PROCESSAMENTO TERMOMECÂNICO SOBRE AS PROPRIEDADES MECÂNICAS E METALÚRGICAS DO AÇO DIN20MNCR5

Hatwig, R.A.¹

Dalcin, R. L.²

Silveira, A. C. F.³

Perozzo, T. S.⁴

Ivaniski, T. M.⁵

Rocha, A.S.⁶

¹ M.Sc. Eng. Rodrigo Afonso Hatwig, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, rodrigo.hatwig@ufrgs.br.

² M.Sc. Eng. Rafael Luciano Dalcin, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, rafael.dalcin@ufrgs.br.

³ Eng. Antonio Carlos de Figueiredo Silveira, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, figueiredo.silveira@ufrgs.br.

⁴ Eng^a Tâmie de Souza Perozzo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul tamie.perozzo@ufrgs.br.

⁵ M.Sc. Eng. Thiago Marques Ivaniski, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, thiago.ivaniski@ufrgs.br.

⁶ Prof. Dr. Alexandre da Silva Rocha, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, alexandre.rocha@ufrgs.br.

Resumo

Nas últimas décadas, o consumo desmedido dos recursos naturais já apresenta consequências visíveis em todo mundo. Esse fato, associado às atuais exigências governamentais, conduziu as indústrias a implementarem um sistema produtivo mais eficiente, com o uso racional destes recursos em todas as etapas do processo de manufatura. Para a indústria do forjamento, isso significa um desejo de redução do calor, ou do consumo de energia, em processos de forjamento e de tratamento térmico e termoquímico. Assim, o objetivo deste trabalho consiste em avaliar os efeitos de rotas termomecânicas sobre as propriedades mecânicas e metalúrgicas do aço baixa liga DIN 20MnCr5. Para isso, rotas de processamento termomecânico foram testadas e avaliadas mediante o emprego de diferentes condições – graus de deformação e meios de resfriamento. Os resultados obtidos, como: (i) a perda térmica no *billet*, (ii) a força necessária para realizar a operação de forjamento, (iii) a dureza e, (iv) a microestrutura fornecem dados que servem de base para a determinação de uma ‘janela’ de processamento mais robusta para o processamento deste material.

Palavras-chave: processamento termomecânico; eficiência energética; aço DIN 20MnCr5.

EFFECT OF THERMOMECHANICAL PROCESSING ROUTES ON THE MECHANICAL AND METALURGICAL PROPERTIES OF STEEL DIN20MNCR5

Abstract

In the last decades, the excessive consumption of natural resources is already presenting significant consequences in the whole world. This fact associated to

current governmental requires led industries to implement a productive system more efficient, with rational use of these resources in all steps of manufacturing processes. To forging industry, it means an aspiration of heat reduction, or energy consumption in forging process, heat and thermochemical treatments. Therefore, the objective of this study is to evaluate the effects of thermomechanical routes in the metallurgical and mechanical properties of the low alloy steel DIN 20MnCr5. For this, thermomechanical processing routes were tested and evaluated through application of different conditions – deformation degrees and cooling methods. The results as: (i) thermal loss in the sample, (ii) required stress to perform forging process, (iii) hardness and (iv) microstructure, provide data that serve as basis to determine a processing window more robust to this material manufacturing.

Key words: thermomechanical processing; energy efficiency; steel DIN 20MnCr5.

1 INTRODUÇÃO

Segundo dados do governo brasileiro⁽¹⁾, o consumo de energia elétrica pelo setor industrial - apesar de ter diminuído nos últimos anos - nos últimos 10 anos correspondeu a mais de 40% de toda a demanda energética do país. Na indústria da transformação mecânica, os fatores que mais contribuem para este elevado consumo são o aquecimento e reaquecimento do aço e os fornos de tratamento térmico e termoquímico. Diante deste cenário, a economia de energia obtida em ações de eficiência energética no setor industrial representa benefícios para toda a sociedade e, também, para o meio ambiente.

No forjamento convencional, a quente e a morno, o billet é aquecido até a sua respectiva temperatura de forjamento, a fim de se reduzir a tensão de escoamento e aumentar a deformabilidade. Após o forjamento, este calor é perdido para o ambiente e o aço - neste caso, a peça forjada - precisa ser reaquecido para os tratamentos térmicos de têmpera e revenimento da microestrutura martensítica.

A *manufatura verde*, como vêm sendo chamado o processamento de materiais metálicos com a forma final próxima do produto acabado, prioriza a economia de energia. Dessa forma, processos com resfriamento direto e controlado, como a chamada têmpera direta surgiram para aproveitar este calor, reduzindo o desperdício de energia.

Neste contexto, BUCHMAYR⁽²⁾ salienta que os aços bainíticos avançados estão, cada vez mais, sendo utilizados em substituição aos aços *ferrítico-perlíticos* e *temperados e revenidos*; pois, neste caso, a microestrutura bainítica pode ser obtida diretamente após o forjamento, economizando tempo e energia em toda a cadeia de processamento. No entanto, essa classe de aços ainda não está disponível comercialmente no Brasil.

Por outro lado, dependendo da estratégia de resfriamento empregada, aços com baixos teores de elementos de liga também são susceptíveis à geração da microestrutura bainítica, conforme apontam EGGBAUER e BUCHMAYR⁽³⁾. A microestrutura bainítica é bem conhecida por proporcionar ao aço um bom compromisso entre dureza, tenacidade e resistência à fadiga; além de dispensar o tratamento térmico de revenimento na maioria das aplicações, como destaca BHADESHIA⁽⁴⁾.

O objetivo deste trabalho consiste em avaliar os efeitos de rotas termomecânicas sobre as propriedades mecânicas e metalúrgicas do aço baixa liga DIN 20MnCr5, priorizando-se a aplicação de meios de resfriamento comumente utilizados na indústria de transformação mecânica.

Para isso, rotas de processamento termomecânico foram testadas e avaliadas mediante o emprego de diferentes condições – graus de deformação e meios de resfriamento.

Os resultados obtidos fornecem dados que servem de base para a determinação de uma ‘janela’ de processamento - baseada no forjamento dentro do campo austenítico - mais robusta para o processamento deste material.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

Conforme mencionado acima, os aços bainíticos ainda não estão disponíveis *comercialmente* no Brasil. Entretanto, torna-se conveniente o estudo de uma liga corriqueiramente utilizada nas indústrias brasileiras para a fabricação de peças automotivas cujos resultados poderão ser, futuramente, utilizados como parâmetro de comparação.

Dessa forma, um estudo foi conduzido com o aço DIN 20MnCr5. Dentre os graus de aços comercialmente disponíveis, este aço foi escolhido por possuir a composição química que mais se assemelha aos novos aços bainíticos.

Na Tabela 1 é apresentada a faixa de composição química – valores mínimos e máximos – segundo a norma DIN 1.7147, para o aço DIN 20MnCr5.

Tabela 1 - Composição química do aço DIN 20MnCr5. Fe: balanço.

Elemento Químico, %	C	Mn	Si	Cr	P _{máx}	S _{máx}
Mínimo	0,17	1,1	-	1,00	-	-
Máximo	0,22	1,4	0,4	1,30	0,035	0,035

Além disso, o material utilizado neste trabalho foi recebido em forma de barra redonda, laminada e trefilada. O Quadro 1 descreve, de maneira geral, as principais características do aço DIN 20MnCr5, na condição de *como recebido*.

Designação do Material	Produto	Condição de Recebimento	Norma Atendida
DIN 20MnCr5 (5120)	Barra redonda	Laminada e trefilada	DIN 1.7147

Quadro 1 - Características do aço DIN 20MnCr5 na condição *como recebido*.

Por fim, a Figura 1 apresenta a microestrutura “ferrítica-perlítica” do material no estado de *como recebido*.

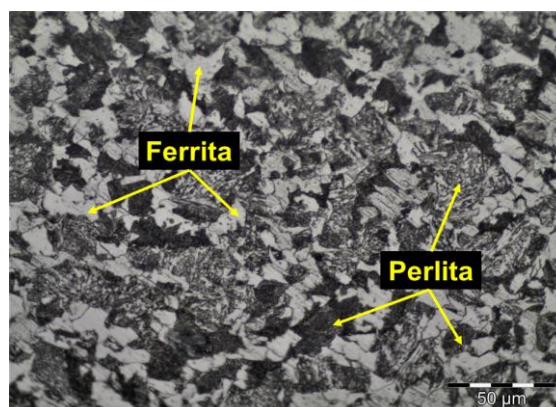


Figura 1 – Microestrutura da amostra *como recebido*. Magnificação: 500X. Reagente Nital 3%.

2.2 Processamento termomecânico

Neste estudo, foi implementada a rota termomecânica da Figura 2.

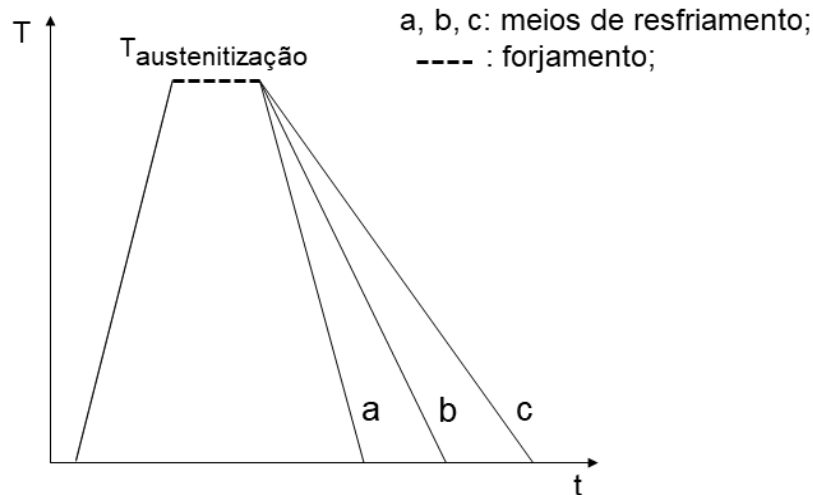


Figura 2 – Rota termomecânica implementada no desenvolvimento deste estudo. Em a) resfriamento em óleo, b) resfriamento em água borrifada e, c) em ar forçado.

Mediante a aplicação desta rota, o aço foi aquecido a 950°C e, posteriormente, forjado com a aplicação de três graus de redução de altura: 20%, 40% e 60%. Após o forjamento, foram aplicados três meios de resfriamento distintos: (i) óleo, (ii) água borrifada e, (iii) ar forçado.

2.3 Análise das perdas térmicas durante o processamento termomecânico

Um estudo acerca das perdas térmicas durante o processo de forjamento foi implementado, conforme detalha a Figura 3.

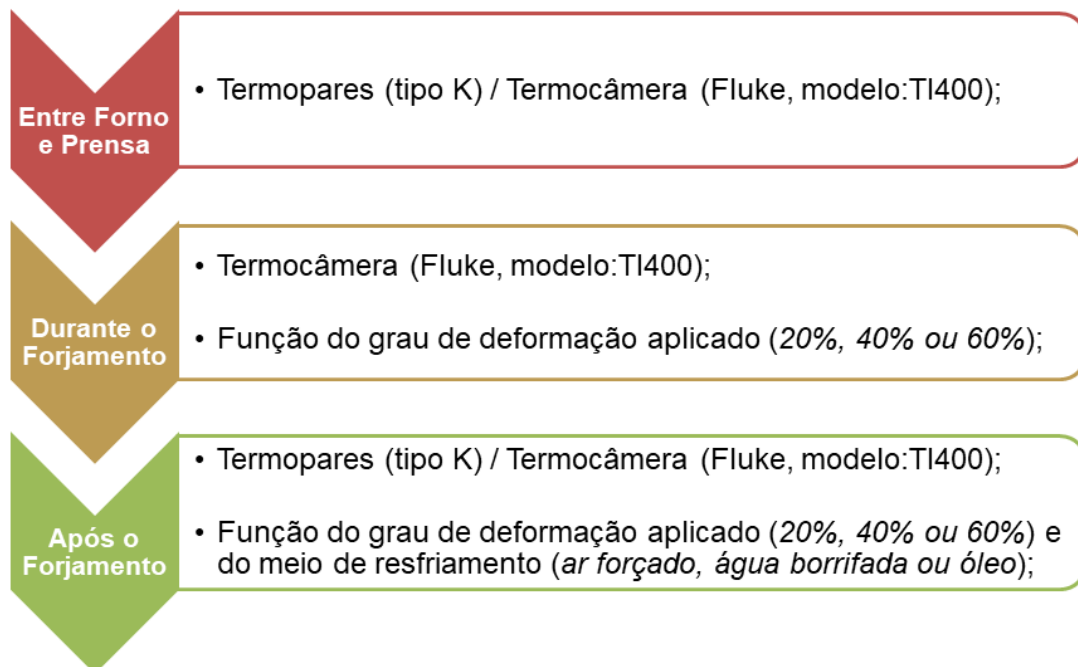


Figura 3 - Estratégia utilizada para a determinação das perdas térmicas durante o processo de forjamento e metodologia aplicada na aquisição dos dados.

Desta forma, segue uma descrição acerca da implementação das etapas de medição das perdas térmicas:

2.3.1 Entre o Forno e a Prensa

Esta análise foi realizada com o objetivo de determinar as perdas térmicas totais (radiação e condução) através do uso de termopares e, também, com o auxílio de uma termocâmara Fluke, modelo TI400.

2.3.2 Durante o Forjamento

Neste caso, foi realizada uma análise das perdas térmicas *durante* o processo de forjamento, a partir do primeiro contato do corpo de prova com a matriz inferior. Levou-se em consideração a redução na altura aplicada, 20%, 40% e 60%. Esta análise foi conduzida mediante o uso de uma termocâmara Fluke.

Nesta etapa do forjamento, também foram coletadas as perdas térmica do *billet* para a matrizes (superior e inferior). A Figura 4 mostra a disposição dos termopares nas matrizes superior e inferior. Os ensaios para a determinação das perdas térmicas foram realizados com as matrizes da prensa na temperatura ambiente; fato proposital, a fim de determinar a máxima perda térmica no *billet*.

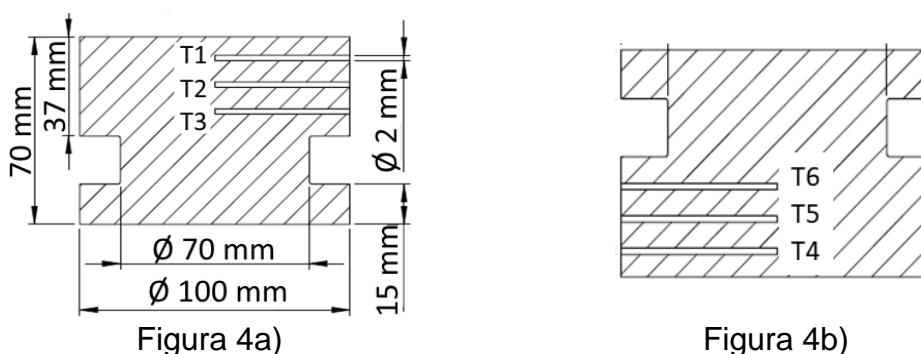


Figura 4 – Disposição e identificação dos termopares e das dimensões da matriz utilizadas no ensaio. Em a) matriz superior e, em b) matriz inferior.

2.3.3 Após o Forjamento

Esta análise foi realizada levando-se em consideração: (i) reduções na altura - 20%, 40% e 60% e, (ii) o meio de resfriamento adotado – ar forçado, velocidade do ar compreendida entre: 2,5 - 3,5 m/s, óleo e água borrifada.

2.4 Medidas de força, deslocamento e caracterização da região plástica durante o processamento termomecânico

Um dos dados mais importantes em processos de *conformação mecânica* é a força necessária para realizar uma determinada operação em função do grau de deformação ao qual o material será submetido. Dessa forma, torna-se possível realizar um melhor planejamento acerca do processo de manufatura de determinada peça com relação aos custos finais (consumo de energia, compra de maquinário, entre outros parâmetros).

Neste sentido, foi realizado um estudo acerca da força necessária para conformar um *billet* - dimensões apresentadas na Figura 5 - para as reduções de altura de 20%, 40% e 60% - dimensões apresentadas na Figura 6 a) b) c).

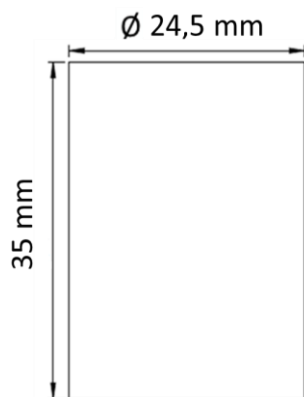
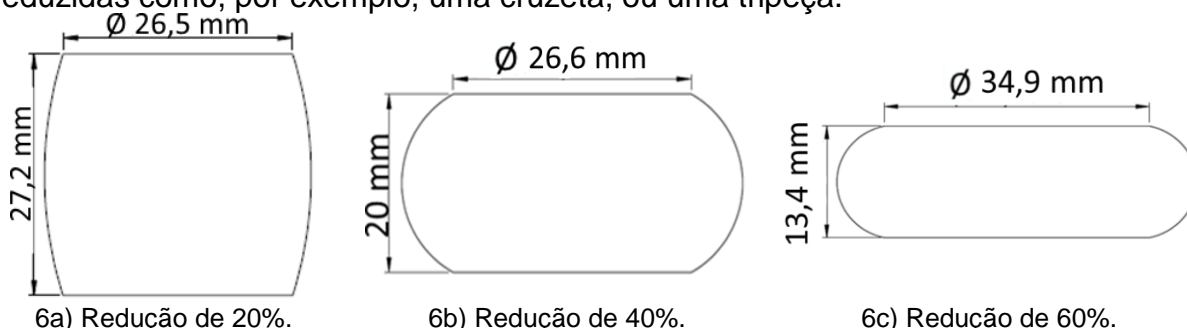


Figura 5 – Dimensões do *billet* utilizado para o cálculo da força.

A dimensão do *billet* acima foi determinada levando-se em consideração o volume necessário para o forjamento de uma peça automotiva de dimensões reduzidas como, por exemplo, uma cruzeta, ou uma tripeça.



6a) Redução de 20%.

6b) Redução de 40%.

6c) Redução de 60%.

Figura 6 – Dimensões finais do *billet* da Figura 5 após os graus de reduções empregados neste estudo. Em a) – Redução de 20%, em b) – Redução de 40% e, em c) – Redução de 60%.

Para este ensaio, as medidas de força e deslocamento foram obtidas mediante o uso de uma célula de carga e de um dispositivo LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*), respectivamente. A Figura 7 apresenta, esquematicamente, o posicionamento dos equipamentos acima citados na prensa EKA (capacidade de 40 toneladas) e que foi utilizada para a realização dos ensaios de forjamento.

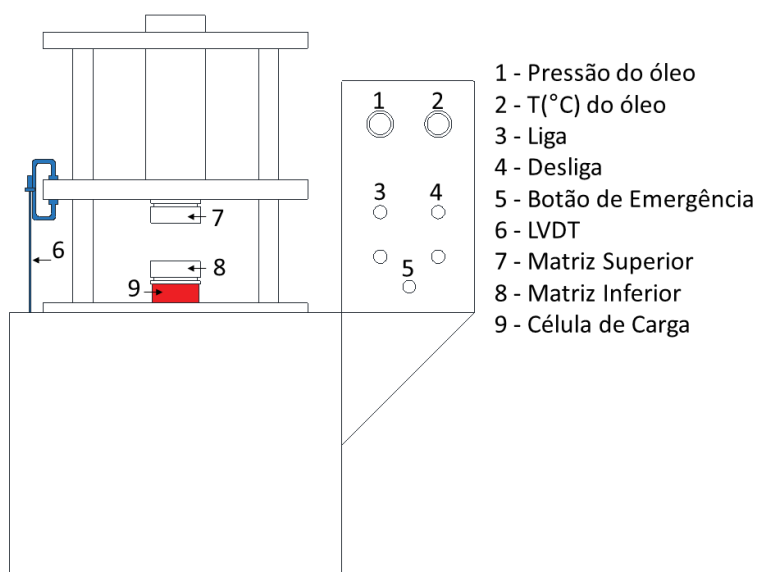


Figura 7 - Prensa EKA utilizada na execução dos ensaios de forjamento.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise química

A Tabela 2 apresenta a composição química realizada em uma amostra do aço DIN 20MnCr5, em estudo.

Tabela 2 - Composição química do aço DIN 20MnCr5, em estudo.

Elemento Químico, %	C	Mn	Si	Cr	P _{máx}	S _{máx}
Mínimo	0,17	1,1	-	1,00	-	-
Medido	0,241	1,253	0,261	1,033	0,014	0,025
Máximo	0,22	1,4	0,4	1,30	0,035	0,035

Em comparação com a Tabela 1, que define os valores máximos e mínimos para cada elemento químico deste aço, vê-se que o C apresenta seu teor superior em 9% ao estabelecido pela norma DIN 1.7147.

3.2 Análise das perdas térmicas

A análise das perdas térmicas durante o processo de forjamento é fundamental para determinar a estratégia, ou rota de processamento termomecânico a ser aplicada à peça a ser produzida. Assim, objetivou-se quantificar as perdas térmicas simulando a rota de processamento representada pela Figura 3, entre: (i) forno e prensa, (ii) durante o forjamento e, (iii) após o forjamento – em função do meio de resfriamento.

3.2.1 Entre o Forno e a Prensa:

As perdas térmicas que ocorrem no corpo de prova após o mesmo sair do forno de aquecimento e chegar até a prensa são, essencialmente, por radiação e por condução (durante o tempo que fica em contato com a tenaz). A temperatura inicial do *billet* foi de 950°C e as perdas térmicas determinadas com o emprego de termopares “tipo K” e, também, de uma termocâmara Fluke.

Dessa forma, obteve-se os seguintes valores:

Termopar (K)	Termocâmara Fluke TI400
853 ± 3 °C	855 ± 4 °C

Quadro 2 – Valores de temperatura medidos entre forno e prensa.

Adotou-se, à título de simplificação, o valor de 855°C (valor utilizado nos cálculos seguintes). Este valor de temperatura representa o instante no qual o *billet* entra em contato com a matriz inferior de forjamento.

3.2.2 Durante o Forjamento:

Nesta etapa do forjamento, há uma maior perda de calor por condução em comparação à etapa anterior. Esta perda de calor também será maior tanto quanto maior for a redução de altura aplicada ao *billet*, pois maior será o tempo de contato deste com as matrizes da prensa.

Dessa forma, em função das medições da etapa anterior temos, para as reduções de 20%, 40%, e 60%:

– *Redução de 20%*

Perda térmica: 855 °C - 793 °C (temperatura final do forjamento) = 62 °C (ΔT)

– *Redução de 40%*

Perda térmica: 855 °C - 764 °C (temperatura final do forjamento) = 91 °C (ΔT)

– *Redução de 60%*

Perda térmica: 855 °C - 738 °C (temperatura final do forjamento) = 117 °C (ΔT)

O Quadro 3 apresenta os valores máximos de temperatura na matriz superior e inferior, conforme a identificação dos termopares da Figura 4 e em função do grau de redução empregado.

		20%	40%	60%
Termopar 1	Matriz Inferior	135 °C	140 °C	196 °C
Termopar 2		48 °C	56 °C	90 °C
Termopar 3		23 °C	32 °C	45 °C
Termopar 4	Matriz Superior	49 °C	70 °C	94 °C
Termopar 5		29 °C	34 °C	58 °C
Termopar 6		21 °C	31 °C	38 °C

Quadro 3 – Temperaturas finais na matriz superior e inferior obtidas no forjamento do *billet*, em função da redução de altura empregada.

Percebe-se que o menor aquecimento da matriz superior é função do menor tempo de contato do *billet* com a mesma. Estes dados são de especial importância para o posterior emprego em simulações por elementos finitos, FEM.

3.2.3 Após o Forjamento:

Após o forjamento das geometrias cilíndricas, as curvas de resfriamento das peças forjadas foram tomadas em função do meio de resfriamento empregado e são apresentadas na Figura 8.

Assim, conforme pode ser visualizado na Figura 8, foi possível obter, mediante o resfriamento: (i) em óleo: taxas de resfriamento compreendidas entre 5,5 e 7,3 °C/s, (ii) em água borrifada: taxas de resfriamento compreendidas entre 4,9 e 5,3 °C/s e, (iii) em ar forçado: taxas de resfriamento compreendidas entre 1,20 e 1,5 °C/s.

Todas as taxas de resfriamento foram calculadas considerando-se a temperatura final de 100 °C e o termopar na posição “central” da peça.

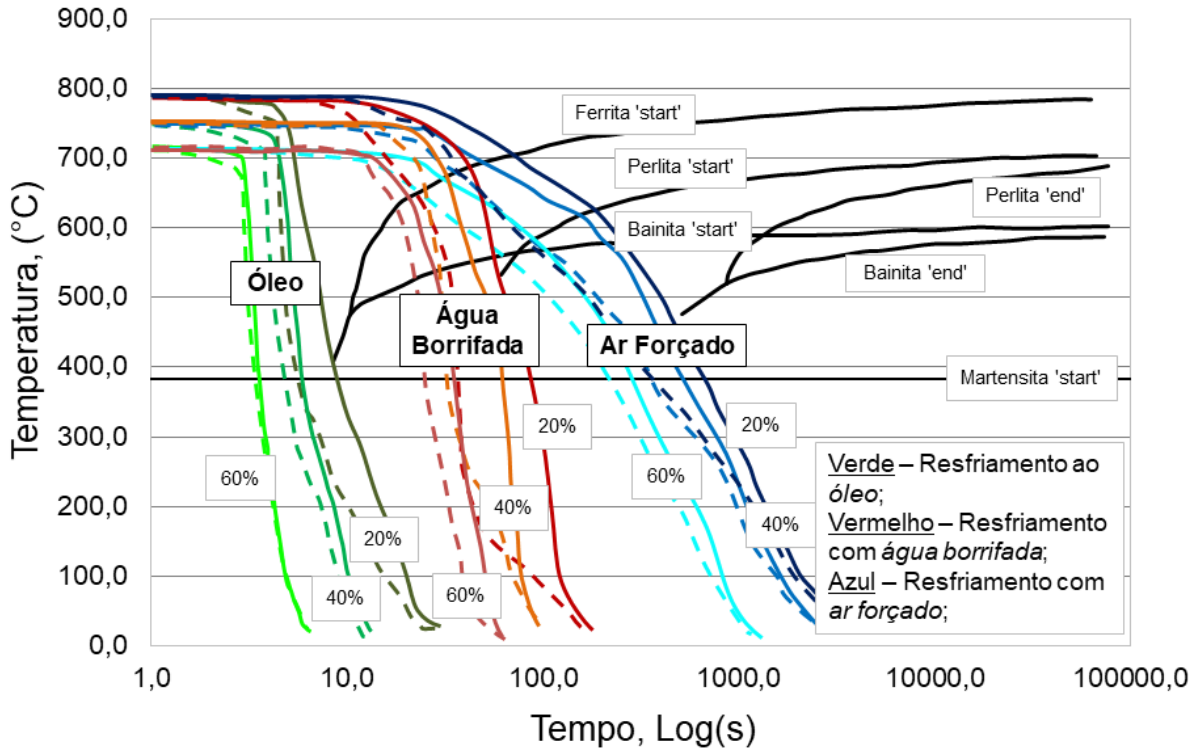


Figura 8 – Curvas de resfriamento em função dos meios e graus de redução empregados. Linha tracejada: Termopar na superfície da amostra / Linha contínua: Termopar no centro da amostra.

3.3 Força de Conformação e Caracterização da Região Plástica

A Figura 9 apresenta os resultados das forças necessárias para conferir ao *billet* (diâmetro: 25,4 mm x altura: 35 mm) as reduções de 20%, 40% e 60%, em estudo. Estes ensaios foram realizados a quente, de acordo com os dados de temperatura acima apresentados.

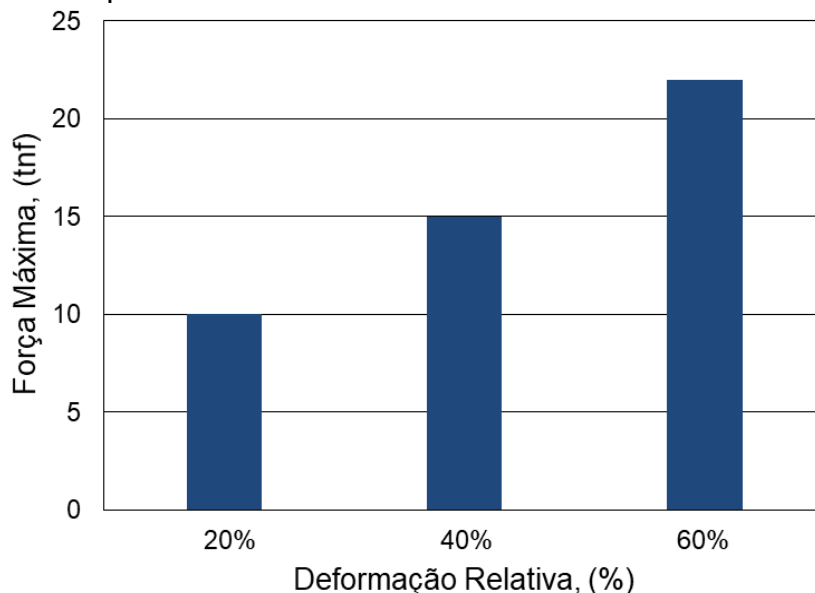


Figura 9 - Forças necessárias para realizar as reduções de 20%, 40% e 60%.

Por outro lado, também é importante caracterizar a região plástica da curva tensão-deformação para a obtenção de valores de força em reduções intermediárias às realizadas.

Assim, foi realizada a caracterização da região plástica para o ensaio de compressão com deformação de até 60%. Neste caso, seguiu-se o ajuste correspondente à equação de Ludwig-Hollomon, $K_f = C\varphi^n$; sendo (i) K_f a tensão de escoamento, (ii) n o coeficiente de encruamento, (iii) φ a deformação e, (iv) C é o coeficiente de resistência.

Deformação (até 60%)	K_{f0}	C	n
	120	215	0,1847

Tabela 3 – Dados relativos à tensão de escoamento $K_f=C\varphi^n$ onde, n é o coeficiente de encruamento, φ é a deformação e C é o coeficiente de resistência.

Salienta-se que a força necessária para realizar o forjamento na região plástica com deformações inferiores a 60% pode ser determinada através dos dados da Tabela 3.

3.4 Curvas de Escoamento a Frio

A fim de determinar a curva tensão-deformação a frio foram conduzidos ensaios de compressão para as condições de resfriamento estudadas - óleo, ar forçado e água borrifada. Neste caso, os *billets* seguiram as rotas termomecânicas anteriormente citadas, mas sem a etapa de deformação na prensa EKA. Posteriormente, foram usinados corpos de prova cilíndricos com as seguintes dimensões: diâmetro = 13mm e altura = 25mm.

Assim, foi desconsiderado o fato de que as deformações apresentam influência sobre a fração volumétrica final das fases e objetivou-se obter apenas uma microestrutura similar. Por isso, são apenas três corpos de prova, um para cada condição de resfriamento.

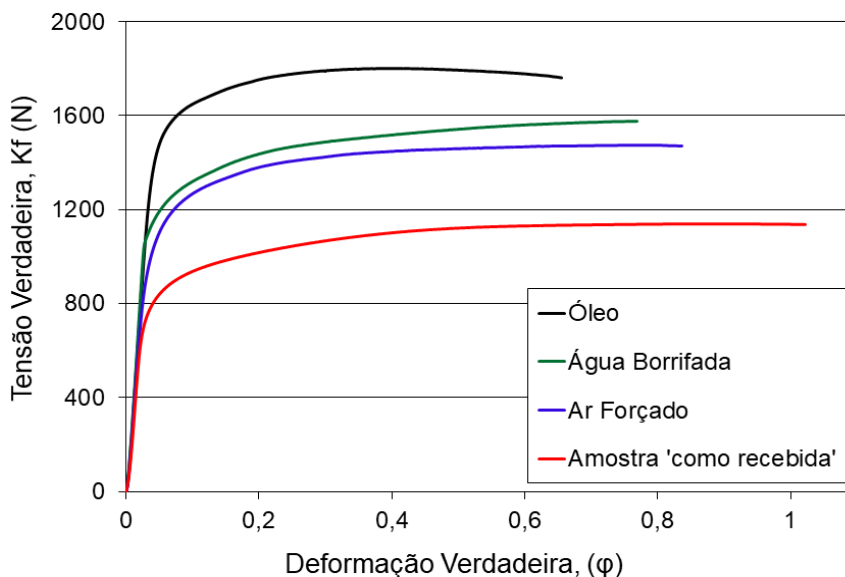


Figura 10 - Curvas Tensão-Deformação a frio para as condições analisadas.

O Quadro 4 apresenta as principais propriedades mecânicas extraídas de cada uma das condições em estudo, após os ensaios.

Condição das amostras	Limite de escoamento (MPa)	Limite de resistência (MPa)	Limite de deformação
Óleo	1300 ± 20	1800 ± 16,3	0,65
Água Borrifada	1090 ± 12	1574 ± 8,6	0,77
Ar forçado	840 ± 7,4	1473 ± 5,2	0,83
'Como recebida'	675 ± 5,2	1139 ± 8,7	>1

Quadro 4 - Valores médios de σ_e , σ_{LR} e *limite de deformação* para os tempos e temperaturas em estudo.

No trabalho de EGGBAUER e BUCHMAYR⁽³⁾, foram implementadas rotas termomecânicas através do uso de um simulador termomecânico Gleeble 3800. Assim, meios de resfriamento controlado, compreendidos entre $\lambda=0,05$ (mais severo, compreendido entre óleo e água borrifada) e $\lambda=0,35$ (menos severo, mas mais severo que ar forçado) foram aplicados. Embora tenha sido realizado o ensaio de tração, os valores obtidos podem ser confrontados com os obtidos no ensaio de compressão, sem que haja prejuízo na interpretação dos resultados.

Dessa forma, verificou-se que o limite de resistência à tração aumenta constantemente da taxa de resfriamento mais lenta ($\lambda = 0,35$ - 932 MPa) para a taxa de resfriamento mais rápida ($\lambda = 0,05$ - 1105 MPa). Estes resultados convergem com os obtidos neste trabalho, quando um limites de escoamento variam de 840 MPa (ar forçado) a 1300 MPa (óleo).

No Quadro 5, são apresentados os resultados obtidos de cada curva de escoamento, segundo a equação de Ludwig-Hollomon.

Condição das amostras	C	n	R ²
Óleo	2055,3	0,1069	0,8999
Água Borrifada	1669,5	0,1083	0,9691
Ar forçado	1620	0,1292	0,8802
'Como recebida'	1216,1	0,1259	0,9506

Quadro 5 - Dados relativos à tensão de escoamento: $K_f = C\phi^n$ onde, "n" é o coeficiente de encruamento, "φ" é a deformação e, "C" o coeficiente de resistência.

3.4 Análise da Dureza

A amostra *como recebida* apresentou uma dureza de $290 \pm 8,5$ HV1.

A seguir, são apresentados os resultados das microdurezas obtidas conforme o 'esquema' de medição apresentado pela Figura 11.

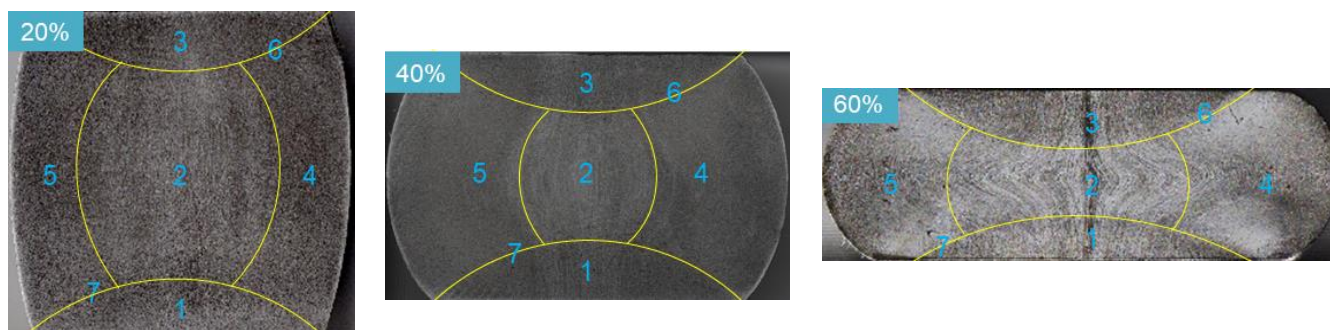


Figura 11 – *Billet* reduzido em 20%, 40% e 60% e seccionado ao meio na direção longitudinal. Destaque para as regiões de interesse para a medição das durezas.

Nos Quadros 6, 7 e 8 podem ser visualizados os valores das medidas de dureza das amostras acima. Estes valores de dureza foram obtidos usando-se a

estratégia de medição da Figura 11 de forma que estes dados possam ser aproveitados futuramente em simulações por elementos finitos, FEM.

O Quadro 6 apresenta os valores das medidas de dureza das amostras conformadas em 20%.

	Óleo	Água Borrifada	Ar Forçado
Região 1	421,36 ± 5,6	374,25 ± 13,1	279,23 ± 5,1
Região 2	423,19 ± 6,8	381,45 ± 5,8	263,83 ± 9,3
Região 3	433,91 ± 7,4	413,56 ± 7,9	289,22 ± 8,7
Região 4	445,39 ± 8,9	429,7 ± 5,5	292,48 ± 78
Região 5	444,01 ± 6,8	421,32 ± 10,1	285,08 ± 5,9
Região 6	432,05 ± 7,2	398,56 ± 12	289,03 ± 6,5
Região 7	432,75 ± 5,2	436,78 ± 3,9	302 ± 4,9

Quando 6 - Medidas de dureza nas regiões em destaque na Figura 11.

O Quadro 7 apresenta os valores das medidas de dureza das amostras conformadas em 40%.

	Óleo	Água Borrifada	Ar Forçado
Região 1	423,46 ± 6,6	386,274 ± 11,3	281,75 ± 8,1
Região 2	433,31 ± 5,8	384,06 ± 5,9	266,148 ± 9,3
Região 3	442,98 ± 7,2	418,616 ± 6,8	293,252 ± 12
Região 4	465,26 ± 8,4	438,498 ± 9,4	297,498 ± 9,5
Região 5	464,33 ± 7,8	427,652 ± 9,1	289,068 ± 8,3
Região 6	432,02 ± 9,2	400,01 ± 8,6	292 ± 6,5
Região 7	439,55 ± 10,6	417,784 ± 7,3	305 ± 7,6

Quando 7 - Medidas de dureza nas regiões em destaque na Figura 11.

O Quadro 8 apresenta os valores das medidas de dureza das amostras conformadas em 60%.

	Óleo	Água Borrifada	Ar Forçado
Região 1	464,39 ± 3,4	382 ± 6,9	309,90 ± 5,7
Região 2	425,17 ± 6,2	345 ± 5,7	261,15 ± 4,9
Região 3	444,08 ± 2,2	371 ± 8,9	297,18 ± 9,4
Região 4	442,57 ± 3,7	420 ± 13,8	294,87 ± 6,1
Região 5	469,86 ± 5,7	433 ± 12,6	283,11 ± 4,6
Região 6	552,15 ± 3,9	475 ± 8,4	317 ± 15,6
Região 7	550,18 ± 4,6	482 ± 9,5	325 ± 8,3

Quando 8 - Medidas de dureza nas regiões em destaque na Figura 11.

Em todos os casos acima, fica evidente a maior dureza das amostras temperadas em óleo, seguida das amostras resfriadas com água borrifada e, por último, a menor dureza das amostras resfriadas ao ar.

Da mesma forma que os resultados para o limite de escoamento, os resultados de dureza acima também convergem com os resultados apresentados no trabalho de EGGBAUER e BUCHMAYR⁽³⁾ onde, através de um meio relativamente severo de

resfriamento ($\lambda=0,05$), foi encontrada uma dureza de 430 HV10 e, para uma taxa de resfriamento de $\lambda=0,35$, foi obtida uma dureza de 350 HV10.

Por outro lado, percebe-se um leve incremento na dureza no material, conforme aumenta o grau de deformação.

3.5 Análise Metalográfica

Nas figuras abaixo serão apresentadas as metalografias das amostras com graus de redução de 20%, 40% e 60%.

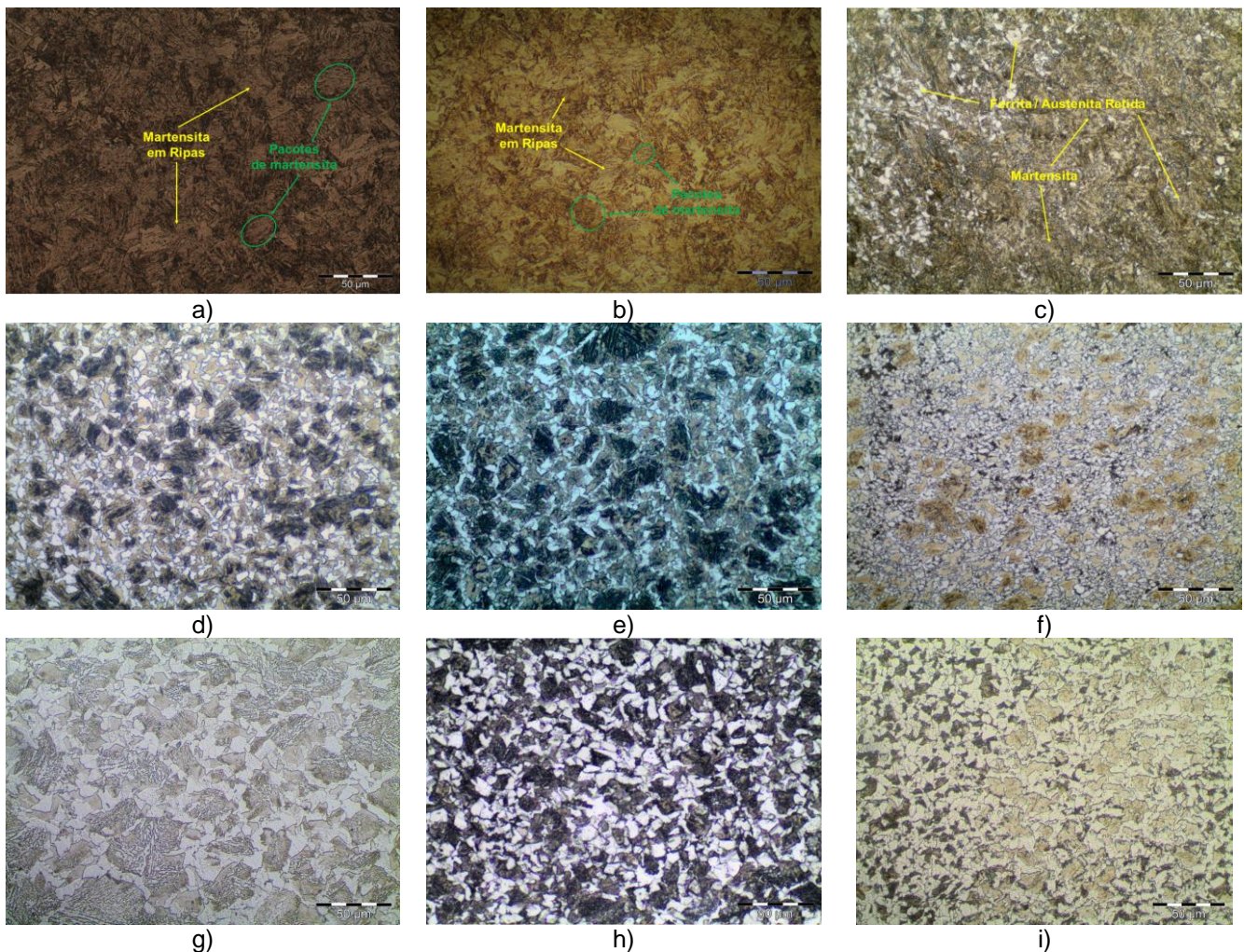


Figura 12 - Microestrutura das amostras, em: (a, b, c) resfriadas em óleo, (d, e, f) resfriadas em água borrifada e (g, h, i) resfriadas em ar forçado. Magnificação: 500X. Reagente Nital 3%.

Nas imagens acima, fica evidente um maior refinamento da microestrutura quanto maior o grau de redução empregado.

Nas amostras temperadas ao óleo, pode ser observada uma microestrutura martensítica com a morfologia de *ripas*. Especialmente na amostra deformada em 60%, observou-se um certo teor de austenita retida, devido à maior perda de temperatura durante o forjamento.

Em amostras cujo resfriamento foi em água borrifada, observou-se uma microestrutura multifásica, constituída pelas fases ferrita (fase branca), martensita (fase marrom) e bainita (fase preta).

Em amostras cujo resfriamento foi em ar forçado, foi identificada uma quantidade significativa das fases ferrita (fase clara) e perlita (fase escura).

Em amostras cujo grau de redução foi de 60% e meios de resfriamento empregado de “ar forçado” e “água borrifada” observou-se uma quantidade significativamente maior da fase ferrítica.

Todas as microestruturas encontradas estão de acordo com a sobreposição das curvas de resfriamento obtidas nos ensaios termomecânicos sobre o diagrama CCT do material do estudo.

4 CONCLUSÃO

Através da análise dos resultados obtidos nos ensaios conduzidos com o aço DIN 20MnCr5, têm-se:

- A determinação das perdas térmicas em “etapas”, conforme a rota termomecânica empregada, proporcionou a obtenção de dados precisos da queda de temperatura no *billet*.
- Com base na afirmação acima, percebeu-se que a temperatura de austenitização de 950°C é relativamente baixa e, que, melhores resultados em termos de propriedades finais no material poderiam ser obtidos mediante a elevação da mesma.
- As maiores perdas térmicas ocorreram no *billet* com redução de 60%, seguido do *billet* reduzido até 40% e, na sequência, pelo *billet* reduzido até 20%.
- As curvas de resfriamento - especialmente quando aplicados meios menos severos de resfriamento - mostram que, mesmo em uma peça de geometria simples, como os cilindros estudados, a variação da temperatura do núcleo para a superfície da peça é bastante grande. Este fato, associado ao tempo de resfriamento, promovem uma microestrutura multifásica difícil de ser analisada.
- O limite de escoamento a frio do material aumentou no sentido do meio menos severo de têmpera para o mais severo. Assim: (i) o corpo de prova temperado em óleo apresentou um limite de escoamento 90% superior à amostra original, mas uma região plástica menor. Também não foram observadas trincas no corpo de prova, apesar da amostra não ter sido revenida, (ii) os corpos de prova resfriados com água borrifada apresentaram um limite de escoamento 60% maior que o apresentado pela amostra original e, (iii) o limite de escoamento do corpo de prova resfriado ao ar forçado foi 25% superior ao apresentado pelo corpo de prova original.
- Em relação à dureza: (i) as amostras temperadas em óleo demonstraram-se mais duras, seguidas das amostras resfriadas com água borrifada e, por último, as amostras resfriadas ao ar forçado, (ii) observou-se um aumento gradual na dureza conforme maior o grau de redução empregado. Certamente, devido ao encruamento, (iii) as amostras conformadas e posteriormente temperadas em óleo apresentaram dureza semelhante nas regiões de medição. Esse fato já era esperado, tendo em vista o meio de resfriamento empregado, mais homogêneo que os demais, (iv) em função da heterogeneidade de fases formada, a dureza das amostras resfriadas com água borrifada variou mais em relação aos outros meios e, (v) em todos os grupos de amostras observou-se uma tendência à formação de fases mais duras, como a martensita, nas regiões de linha de fluxo do *billet*.

- Em relação à microestrutura das amostras temperadas ao óleo: (i) nas reduções de 20% foi identificada a martensita com a morfologia de *ripas*, característica em aços de baixo teor de carbono, (ii) nas reduções de 40%, também foi possível observar a morfologia de *ripas*; no entanto, formando pacotes menores e, (iii) nas amostras reduzidas até 60%, não foi possível observar por microscopia óptica a morfologia de *ripas*; tampouco pacotes. Neste caso, também foi observada uma quantidade significativa de fase branca (austenita retida e/ou ferrita pró-eutetóide) que, pela técnica utilizada, é impossível de se distinguir.
- Em relação à microestrutura das amostras resfriadas com água borrifada: observa-se uma quantidade de ferrita, variando entre 10% e 30% e regiões escuras, constituídas por martensita e bainita.
- Em relação à microestrutura das amostras resfriadas com ar forçado: (i) neste grupo de amostras observou-se a presença da fase ferrítica sem uma morfologia definida nas amostras de 20%, 40% e 60%, (ii) verificam-se regiões aparentemente formadas por perlita descontínua (em maior fração volumétrica que nas amostras resfriadas em água borrifada) - provavelmente efeito da deformação, pois este fenômeno aumenta em peças submetidas à grandes deformações.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq - pelo suporte financeiro concedido através do processo 142097/2015-2 e aos bolsistas de iniciação científica Gabriel Grazziotin, Francisco Andre Simon e Calvin Chaves Zaccani.

REFERÊNCIAS

- Empresa de Pesquisa Energética <http://www.epe.gov.br/pt>. Acesso em 20.08.2018.
- BHADESHIA, H. K. D. H. **BAINITE IN STEELS Theory and Practice**. Third ed. [S.l.]: Maney Publishing, 2015.
- BUCHMAYR, B. Critical assessment 22: Bainitic forging steels. **Materials Science and Technology (United Kingdom)**, 2016. v. 32, n. 6, p. 1–6.
- EGGBAUER, G.; BUCHMAYR, B. Optimized Cooling Strategies for Bainitic Forging Steels. **Key Engineering Materials**, 2016. v. 716, p. 472–480.

REVESTIMENTOS ORGÂNICOS POLIMÉRICOS A BASE DE PANI-ES E PANI-ES/APP PARA PROTEÇÃO CONTRA O FOGO

Tocchetto, N. S.¹
Baldissera, A. F.²
Ferreira, C. A.³

- ¹ Graduanda, Nicolle Sturzbecher Tocchetto, Departamento de Engenharia de Materiais – DEMAT (UFRGS), nicktocchetto@hotmail.com.
² Pós-Doutora, Alessandra Fiorini Baldissera, Departamento de Engenharia de Materiais – DEMAT (UFRGS), alebaldissera@hotmail.com.
³ Pós-Doutor, Carlos Arthur Ferreira, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGE3M (UFRGS), ferreira.carlos@ufrgs.br.

Resumo

O aço estrutural é um material de grande utilização no setor civil e de construção em geral. Mesmo que incêndios convencionais não alcancem a temperatura de fusão desse material, entre 1400-1500°C, ele perde grande parte de suas propriedades estruturais a partir de 500°C. Portanto, a proteção do aço é de vital importância para manter suas propriedades mecânicas, a fim de que a estrutura a qual comporta não entre em colapso. O uso de revestimentos retardantes de chama vem se mostrando uma alternativa promissora para a proteção passiva contra o fogo, pois além de manterem as propriedades intrínsecas do substrato ao qual são aplicados, são métodos econômicos e passíveis de aplicação em diferentes materiais.

Neste trabalho, revestimentos à base de resina epóxi contendo polianilina (PANI) e polifostato de amônio (APP) como pigmentos foram avaliados na proteção do aço contra o fogo. A proteção térmica foi avaliada após a exposição das amostras a uma chama de gás metano por 30 min. Durante o teste, imagens termográficas e dados de temperatura da superfície do aço foram coletados. Verificou-se que o revestimento contendo 10% de PANI-ES e 10% de APP apresentou a melhor proteção contra o fogo, cuja temperatura após 30 min de ensaio não excedeu 330°C.

Palavras-chave: Polianilina; Revestimento; Proteção contra o fogo.

POLYMERIC ORGANIC COATINGS BASED ON PANI-ES AND PANI-ES/APP FOR FIRE PROTECTION

Abstract

Structural steel is a material of great use in the civil sector and construction in general. Even if conventional fires do not reach the melting temperature of this material, between 1400-1500 °C, it loses much of its structural properties from 500 °C. Therefore, the protection of steel is of vital importance to maintain its mechanical properties, so that the structure it behaves does not collapse. The use of flame retardant coatings has shown to be a promising alternative for the passive protection against fire, since in addition to maintaining the intrinsic properties of the substrate to which they are applied, they are economic methods and can be applied in different materials.

In this work, coatings based on epoxy resin containing polyaniline (PANI) and ammonium polyphosphate (APP) as pigments were evaluated in the protection of steel against fire. The thermal protection was evaluated after sample exposure to a methane gas flame for 30 min. During the test, thermo-graphic images and temperature data for the steel surface were collected. It was found that the coating containing 10% PANI-ES and 10% APP, whose temperature after 30 min of assay did not exceed 330 °C., provided the best fire protection.

Keywords: Polyaniline; Coating; Fire protection.

1 INTRODUÇÃO

O uso de revestimentos retardantes de chama é uma maneira eficiente de proteger materiais contra danos causados pelo fogo. A natureza destes revestimentos pode ser orgânica e/ou inorgânica. Revestimentos cimentícios, baseados em cimento Portland e outros minerais, vem sendo usados na proteção do aço estrutural contra o fogo. No entanto, seu peso e estética limitam o uso em aplicações arquitetônicas⁽¹⁾. Revestimentos orgânicos são amplamente utilizados como retardantes do fogo por diferentes motivos, como menor peso quando comparado com revestimentos inorgânicos e facilidade de processamento⁽²⁾. Eles também podem ser aplicados em muitos materiais, como aço^(2,3,4), têxteis⁽¹⁾ e madeira^(1,5).

Muitos estudos demonstraram^(4,6) que o aço estrutural perde suas propriedades mecânicas em temperaturas acima de 500 °C. Por isso, a indústria da construção civil busca alternativas mais eficazes para sua proteção⁽⁶⁾. Diversos estudos^(2,4,6,7,8) vem mostrando a viabilidade do uso de revestimentos intumescentes na proteção contra o fogo de diferentes substratos. Além disso, revestimentos não intumescentes são também uma alternativa menos dispendiosa na proteção contra incêndio.

A polianilina (PAni) é um polímero condutor intrínseco que oferece boas propriedades anticorrosivas para muitos metais, como aço, alumínio e suas ligas^(9,10,11,12,13). A PAni, quando em seu estado dopado e condutor oferece proteção anódica para o substrato devido à formação de uma camada mista de óxido^(10,14). Outras aplicações para revestimentos contendo PAni foram estudadas recentemente. Baldissera *et al*⁽¹⁵⁾ estudou a adição de PAni na formulação de revestimentos anti-incrustantes e observou que a adição deste polímero na forma condutora em tintas contendo Cu₂O melhorou a eficiência *antifouling* do sistema. Stejskal *et al*⁽¹⁶⁾ estudou o efeito da resistência à chama da madeira revestida com uma tinta contendo PAni e observou que para todas as amostras revestidas a perda de massa durante a exposição ao fogo ou a altas temperaturas foi menor do que para as não revestidas, mostrando que os revestimentos a base de PAni podem melhorar a resistência ao fogo da madeira.

Verificou-se que a PAni é um polímero multifuncional que oferece um grande campo de propriedades e estudos. O objetivo deste trabalho foi formular e caracterizar revestimentos a base de PAni contendo um retardante de chama (polifosfato de amônio, APP), e avaliar suas propriedades de na proteção antichama.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Síntese dos polímeros condutores

2.1.1 Síntese da PAni-ES (polianilina dopada com HCl)

A reação de polimerização da anilina foi realizada a temperaturas entre -4 e 0 °C durante 6 h. Uma solução consistindo de um agente oxidante, PSA (persulfato de amônio), em HCl 1 M foi adicionada lentamente à uma segunda solução de HCl 1 M contendo o monômero, sob agitação constante. A solução foi filtrada e o pó verde obtido (PAni-ES) foi lavado com água destilada, etanol e finalmente seco em estufa a 60 °C, durante 24 h.

2.1.2 Síntese da PAni-ES/APP

Primeiramente o APP foi solubilizado em HCl 1 M numa concentração de 2.5% m/v sob agitação constante e temperatura de 60°C. Em seguida a anilina foi adicionada a esta solução e resfriada até aproximadamente -4°C. Posteriormente o procedimento foi o mesmo para a síntese da PAni-ES, ou seja, a solução contendo o agente oxidante (PSA também em HCl 1 M) foi adicionada lentamente à primeira solução, sob agitação constante. Por fim, após 6 h de reação, a solução foi filtrada e o pó verde obtido (PAni-ES/APP) foi lavado com água destilada, etanol e finalmente seco em estufa a 60°C, durante 24 h.

2.2 Preparação das tintas à base de polímeros condutores

As tintas foram preparadas utilizando equipamento específico para esta finalidade e os componentes foram pesados conforme as formulações descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Formulações das tintas

Tinta	Resina ^(a) (%)	Pigmento 1 ^(b,c)		Pigmento 2 ^(c) APP puro (%)
		Tipo	(%)	
1	95	PAni-ES	5	-
2	90	PAni-ES	10	-
3	95	PAni-ES/APP	5	-
4	90	PAni-ES/APP	10	-
5	85	PAni-ES	5	10
6	85	PAni-ES/APP	5	10
7	80	PAni-ES	10	10
8	80	PAni-ES/APP	10	10

(a) Resina epóxi monocomponente em solução (Teor de não voláteis = 44,5%);

(b) Polímero condutor sintetizado conforme descrito no item 2.1;

(c) Nas formulações contendo pigmento adicionou-se um aditivo dispersante (30% em massa sobre a quantidade total de pigmento).

Com o auxílio de um dispersor DISPERMAT N1 (BYK Gardner), com um disco Cowles acoplado, misturou-se a resina e o aditivo por aproximadamente 5 min. Posteriormente o pigmento foi disperso na mistura, a uma velocidade de aproximadamente 3.000 rpm por mais 1 h. As tintas contendo o dois pigmentos,

polímero condutor + APP puro, foram deixadas 2 h dispersando no equipamento. A quantidade de solvente utilizada neste processo foi de aproximadamente 100 mL. O tamanho das partículas, avaliado com um Grindômetro (BYK Gardner), permaneceu em torno de 5 Hegman (40 μm).

2.3 Preparação dos corpos de prova

As placas de aço SAE 1010, de dimensões (200x250x0,9)mm foram previamente desengraxadas com xileno e as tintas aplicadas sobre o substrato utilizando um extensor. Os corpos de prova foram então acondicionados em local livre de poeira para secagem do revestimento. A espessura dos revestimentos foi avaliada após a completa evaporação do solvente a temperatura ambiente com um instrumento de medida Byko-test 7500 (BYK Gardner). As medidas foram repetidas 8 vezes e a média e o desvio padrão foram calculados e estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2. Espessura dos revestimentos

Tinta	Placa (μm)
1	748,0 \pm 30
2	829,3 \pm 46
3	632,5 \pm 43
4	600,4 \pm 22
5	613,4 \pm 14
6	706,4 \pm 36
7	917,3 \pm 28
8	450,9 \pm 10

Não foi feita uma placa somente com resina (branco) para o ensaio de resistência ao fogo, pois estudos preliminares⁽¹⁷⁾ demonstraram que a resina pura escorre totalmente do substrato ao ser submetida ao ensaio de resistência ao fogo.

2.4 Resistência ao fogo

Após a preparação das placas conforme descrito anteriormente, o teste de resistência ao fogo foi conduzido em duplicata para cada revestimento. O corpo de prova a ser ensaiado foi preso em um suporte metálico e colocado a uma distância de 2,5 cm do bico de Bunsen (f 70, Orca) com chama de metano. Um termopar do tipo K foi colocado na parte posterior (*backside*) da placa metálica para monitorar o perfil de temperatura da amostra de aço carbono quando submetida à chama oxidante (Figura 1a). Uma câmera termográfica (Fluke Ti400) também foi utilizada para monitorar o perfil de temperatura da amostra. A câmera de termografia foi utilizada para a detecção da faixa espectral do infravermelho (Figura 1b).

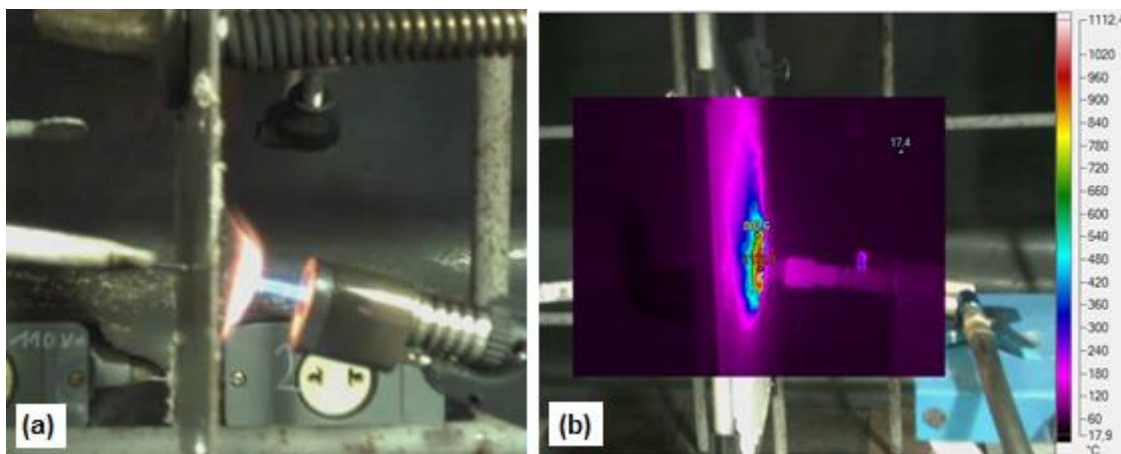


Figura 1. Ensaio de resistência ao fogo (a) detalhe do termopar e (b) termografia do ensaio

A coleta de dados do termopar tipo K foi realizada por um módulo de aquisição (*data logger*) desenvolvido no laboratório. O tempo de exposição das placas à chama foi de 30 min. A chama do gás metano do bico de Bunsen alcança uma temperatura máxima de 1300 °C.

2.5 Caracterização

A caracterização dos polímeros foi realizada por espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) (espectrômetro Perkin Elmer Spectrum 1000), condutividade elétrica (Signatone modelo S-301-6 associada à fonte Keithley 6430, usando o método padrão de quatro pontas⁽¹⁸⁾) e análise termogravimétrica (analisador termogravimétrico modelo TGA Q50, TA Instruments).

Os revestimentos foram avaliados por análise termogravimétrica (TGA).

Os experimentos de TGA foram realizados em atmosfera inerte (N₂) na faixa de temperatura de 25 °C a 900 °C a uma taxa de aquecimento de 20 °C/min e utilizou-se uma massa de amostra de aproximadamente 10 mg. O *software* TA Universal Analysis foi utilizado para tratamento dos dados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Polímeros condutores

3.1.1 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica dos polímeros condutores foi medida usando o método padrão das quatro pontas. O material analisado foi pastilhado em formato cilíndrico com 13 mm de diâmetro e espessura variável.

A PAni-ES apresentou um valor de condutividade de $5,4 \times 10^1 \text{ S.cm}^{-1}$ e a PAni-ES/APP de $7,5 \text{ S.cm}^{-1}$. Sendo o APP um polímero isolante, observou-se que a adição deste na síntese da polianilina diminuiu, de fato, a condutividade do material.

3.1.2 Espectroscopia infravermelho FTIR

Para a análise dos polímeros utilizou-se pastilhas do material com KBr. Os polímeros puros foram previamente moídos e secos para a confecção das pastilhas. A Figura 1 mostra os espectros de infravermelho para a PANi-ES, APP e PANi-ES/APP.

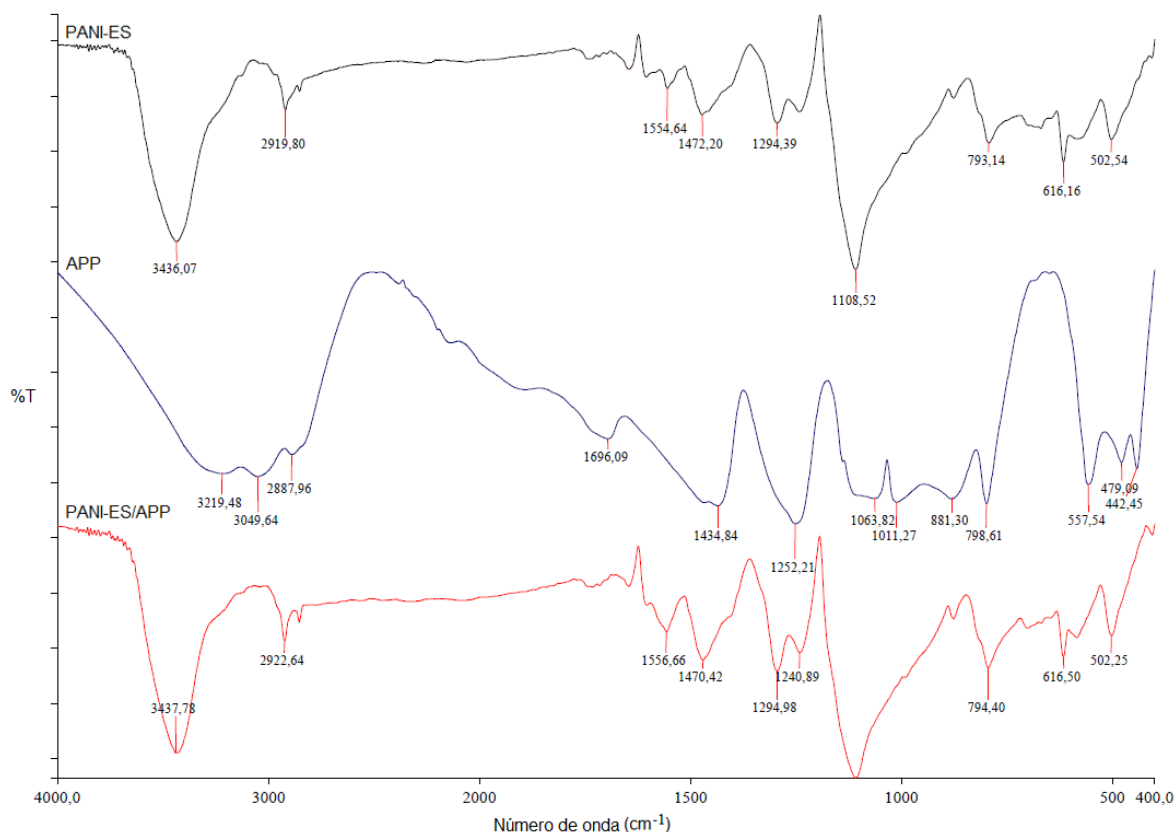


Figura 2. Espectros de infravermelho: PANi-ES, APP e PANi-ES/APP

No espectro da PANi-ES observam-se duas bandas de absorção em 1554 e 1472 cm^{-1} atribuídas ao estiramento das ligações C=C do anel aromático dos grupos quinóide (Q) e benzenóide (B), respectivamente. Estes valores são semelhantes aos já descritos na literatura ^(15,19). A banda em 1294 cm^{-1} é atribuída às vibrações das ligações C-N, em 1241 cm^{-1} atribuída ao estiramento das ligações C-N-H e a banda em 1108 cm^{-1} é atribuída à formação dos polarons $\text{H}^+\text{N}=\text{Q}=\text{NH}^+$. A banda em torno de 793 cm^{-1} é característica de anel benzênico p-dissubstituído.

No espectro do APP, a banda em 1434 cm^{-1} é atribuída às vibrações de flexão das ligações N-H. As bandas em 1252 cm^{-1} e 1063 cm^{-1} são atribuídas ao estiramento simétrico das ligações P=O e P-O, respectivamente. E as bandas em 881 cm^{-1} e 798 cm^{-1} são atribuídas às vibrações das ligações do PO₂ e PO₃, respectivamente⁽²⁰⁾.

No espectro da PANi-ES/APP também é possível visualizar as bandas descritas para a PANi-ES e algumas do APP, porém com alguns deslocamentos: 1556 e 1470 cm^{-1} atribuídas ao estiramento das ligações C=C do anel aromático dos grupos Q e B; 1294 cm^{-1} atribuída às vibrações das ligações C-N e 1240 cm^{-1} atribuída ao estiramento das ligações C-N-H; a banda em 1110 cm^{-1} atribuída à

formação dos polarons $H^+N=Q=NH^+$. A banda em 794 cm^{-1} é atribuída às vibrações das ligações P-O do APP.

3.1.3 Análise termogravimétrica

As análises termogravimétricas foram realizadas conforme descrito anteriormente e os termogramas TG/DTG dos polímeros estão apresentados na Figura 3.

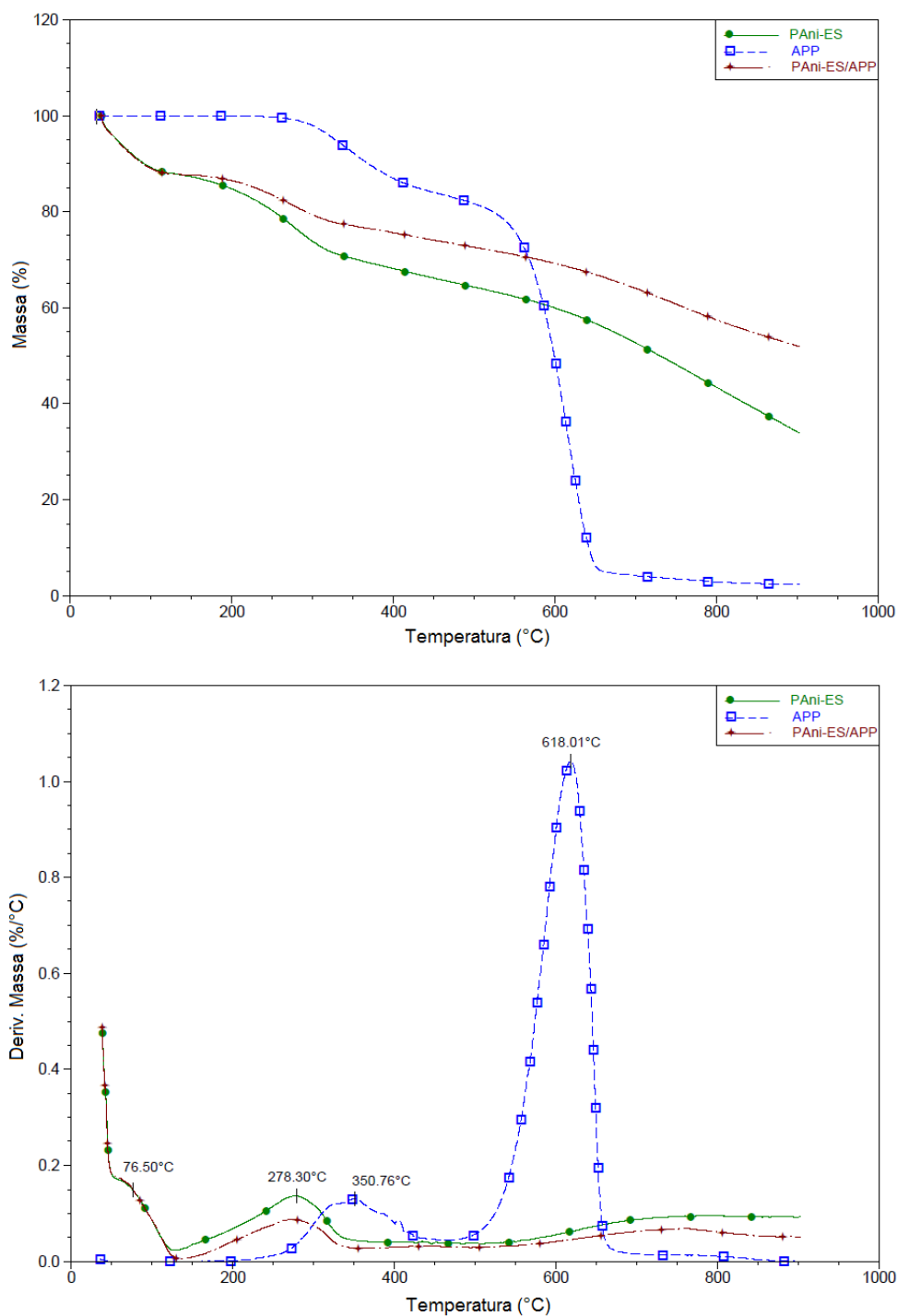


Figura 3. Termogramas (a) TG e (b) DTG dos polímeros PAni-ES, APP e PAni-ES/APP

Nas curvas TG/DTG da PAni-ES pode-se notar uma primeira perda de massa, com temperatura máxima de degradação em torno de 76°C, associada a perda de umidade do polímero. Um segundo evento térmico, com temperatura máxima de degradação em torno de 278°C, está associado à evolução do ácido dopante e degradação de oligômeros. O terceiro evento na curva TG para este polímero inicia-se em torno de 400°C e está relacionado a um rearranjo estrutural onde pode estar ocorrendo quebra nas extremidades da cadeia. O quarto evento, iniciando-se em aproximadamente 500°C está associado à degradação da cadeia polimérica⁽²¹⁾.

Para o APP, as curvas TG/DTG apresentam um primeiro evento térmico associado à eliminação de NH₃ e água, com temperatura máxima de degradação em torno de 350°C. O segundo evento térmico, com temperatura máxima de degradação em aproximadamente 618°C, está associado à liberação dos ácidos fosfórico, polifosfórico e metafosfórico no processo de degradação do APP⁽²²⁾.

Já para a PAni-ES/APP, as curvas TG/DTG são similares ao da PAni-ES pura e pode se observar os mesmos eventos térmicos, pois o APP está presente em pequena quantidade no polímero.

3.2 Tintas

3.2.1 Análise termogravimétrica

As análises termogravimétricas foram realizadas nas mesmas condições descritas anteriormente e os termogramas TG/DTG das tintas e da resina pura estão apresentados na Figura 4.

Na curva TG/DTG da resina epóxi, observa-se uma primeira perda de massa com temperatura máxima de degradação em torno de 97°C, atribuída à perda de umidade e evaporação do solvente presentes na amostra. O segundo evento, com temperatura máxima de degradação em torno de 443°C, está associado à degradação da cadeia polimérica.

As tintas apresentam comportamento similar à resina pura, pois as temperaturas de degradação dos componentes da PAni utilizada como pigmento se degradam na mesma faixa de temperatura da resina. Porém, as que contem APP na formulação (Tintas 3, 5 e 6) tem suas temperaturas máximas de degradação deslocadas para valores mais baixos, devido à degradação dos componentes do APP (NH₃, ácidos fosfórico, polifosfórico e metafosfórico).

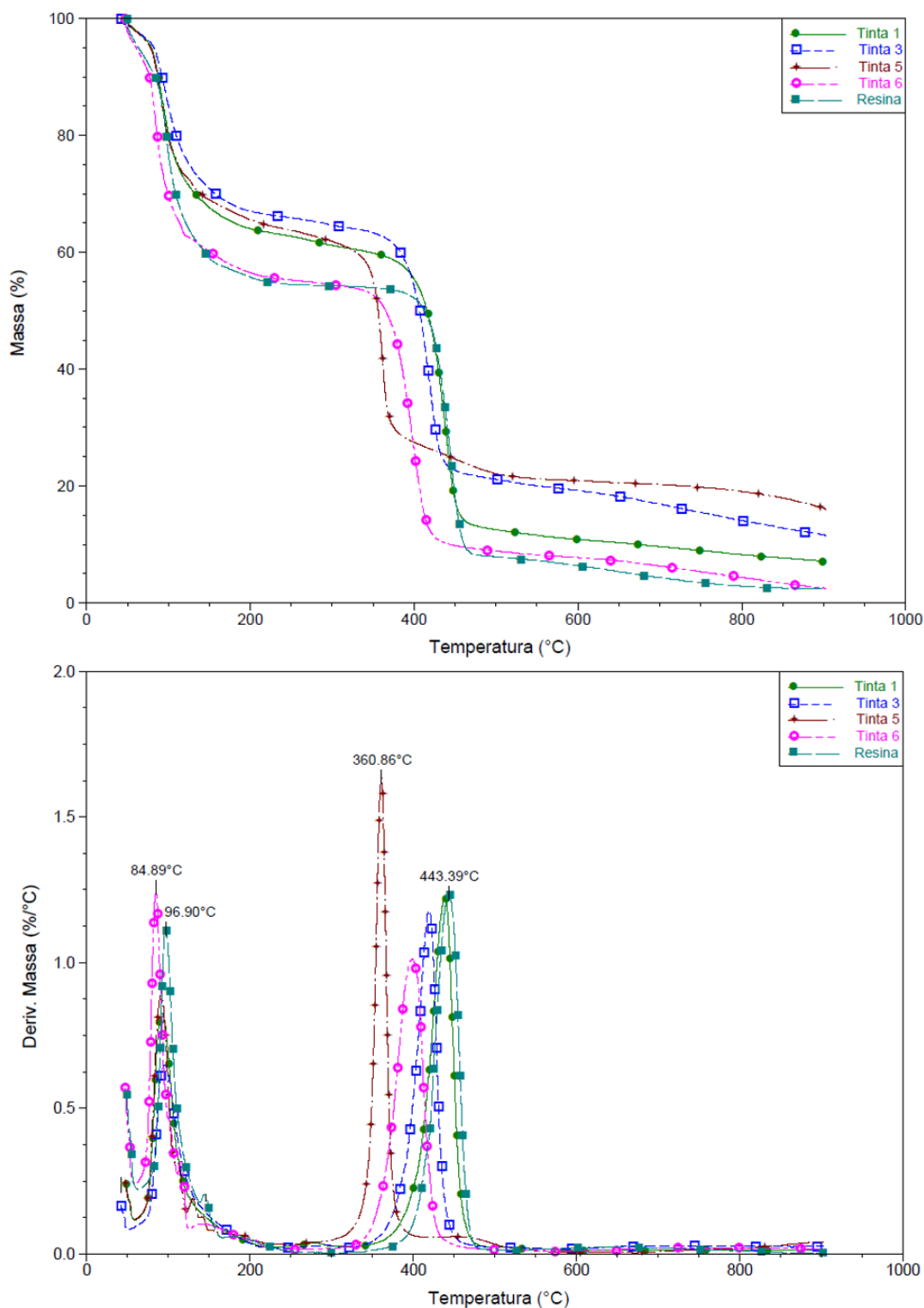


Figura 4. Termogramas TG e DTG das tintas e resina pura

3.2.2 Resistência ao fogo

O ensaio foi realizado conforme descrito anteriormente e os perfis de temperatura obtidos pelo termopar (a) e pela câmera termográfica (b) em função do tempo ao longo do ensaio são apresentados na Figura 5. Nota-se uma diferença de

aproximadamente 100°C entre os métodos, porém o comportamento foi semelhante em ambos. Esta diferença pode ser atribuída ao fato de o termopar apresentar um contato pontual com o substrato metálico, enquanto que a câmera termográfica capta uma área maior da superfície.

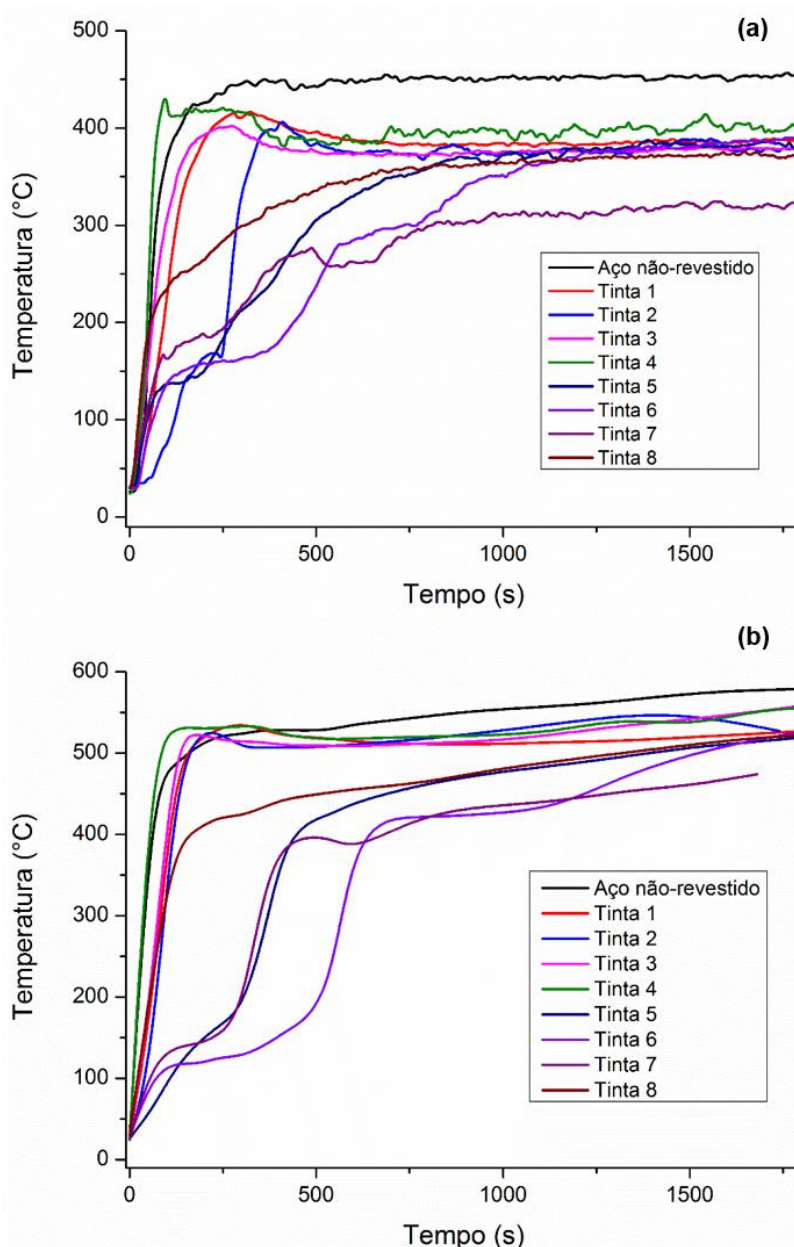


Figura 5. Temperatura do substrato metálico na face posterior das amostras (a) termopar e (b) câmera termográfica

O aço sem revestimento, após 3 min (180 s) de exposição à chama, apresentou temperatura superior à 400°C, a qual estabilizou em aproximadamente 460°C após 10 min (600 s) de ensaio (Figura 5a). Nesta faixa de temperatura, as propriedades estruturais do aço estariam comprometidas. As placas revestidas com as Tintas 1, 2 e 3 apresentaram comportamento similar ao aço sem revestimento, porém a temperatura demorou em torno de 5 min (300 s) para alcançar 400°C e estabilizou um pouco abaixo, aproximadamente 380°C. A placa revestida com a

Tinta 4 apresentou o pior desempenho e alcançou 400°C com somente 1 min (60 s) de ensaio.

As Tintas 5, 6, 7 e 8 apresentaram desempenho superior entre os revestimentos avaliados. Todas estas tintas foram preparadas com 10% de APP na formulação, que é o agente organofosforado que atua como composto antichama. Nota-se que a atuação deste composto foi eficaz no combate inicial ao fogo, visto que o aumento da temperatura foi mais lento que nas demais formulações. Esta ação do retardante de chama pode ser explicada pelo fato que durante a sua decomposição ocorre a liberação de radicais PO•, que reagem com os comburentes reduzindo a exotermicidade, conseqüentemente a decomposição do revestimento.

O melhor desempenho no ensaio de resistência ao fogo foi apresentado pela placa revestida com a Tinta 7, cuja temperatura após os 30 min (1800 s) de ensaio não ultrapassou 330°C. Esta tinta foi formulada com 10% de PAni-ES e 10% de APP.

Nenhuma das formulações testadas apresentaram comportamento intumescente, ou seja, não ocorreu a expansão da camada carbonosa, oriunda da decomposição da fonte de carbono (resina e PAni), durante a incidência da chama. Este fato pode ser atribuído à baixa geração de gases de expansão durante a decomposição do revestimento.

Nas Figuras 6 e 7 é possível observar a aparência dos revestimentos, bem como a face posterior das placas de aço após o ensaio de resistência ao fogo.

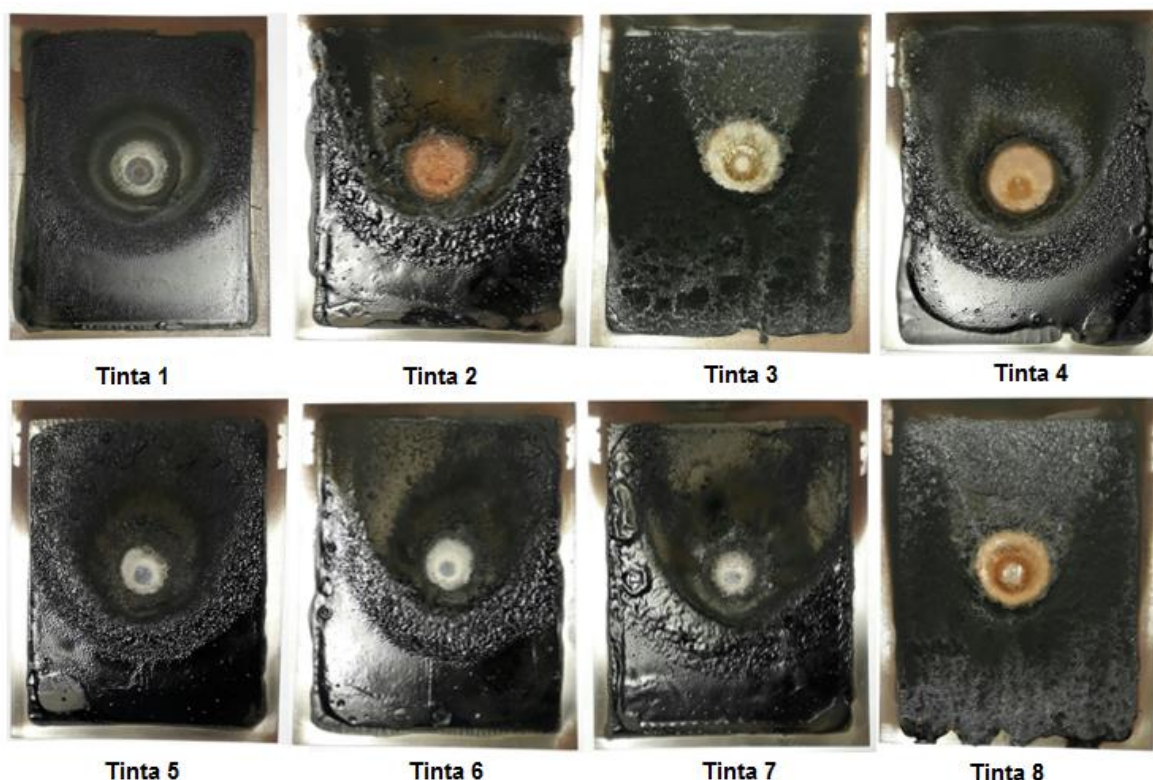


Figura 6. Placas revestidas após o ensaio de resistência ao fogo

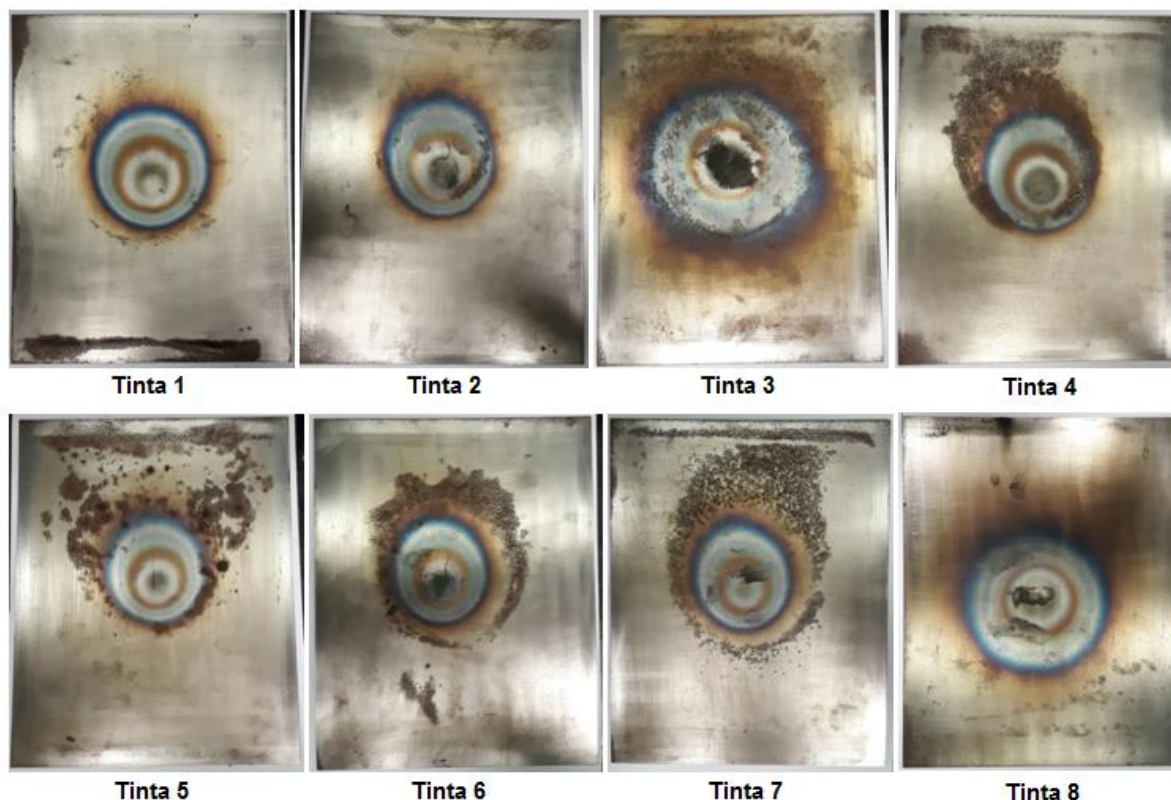


Figura 7. Face posterior das placas revestidas após o ensaio de resistência ao fogo

A Tabela 3 apresenta o diâmetro da zona termicamente afetada medido na face posterior das placas revestidas (Figura 7) após o ensaio.

Tabela 3. Diâmetro da zona termicamente afetada

Tinta	Diâmetro (mm)	Tinta	Diâmetro (mm)
1	90	5	82
2	85	6	75
3	143	7	79
4	85	8	112

Nota-se que o crescimento da zona termicamente afetada foi menor para as Tintas 5, 6 e 7, evidenciando a proteção térmica destes revestimentos. Em comparação com a placa sem revestimento (Figura 8), cujo diâmetro foi de 102 mm, somente as placas revestidas com as Tintas 3 e 8 apresentaram diâmetros superiores, 143 e 112 mm respectivamente. A baixa eficiência destes revestimentos no ensaio de resistência ao fogo pode ser atribuído ao fato dos revestimentos não estarem completamente curados no momento do ensaio. Solvente ainda estava presente ao longo da espessura do revestimento, e isto propiciou a queima de todo o revestimento, como pode ser visualizado na Figura 6.

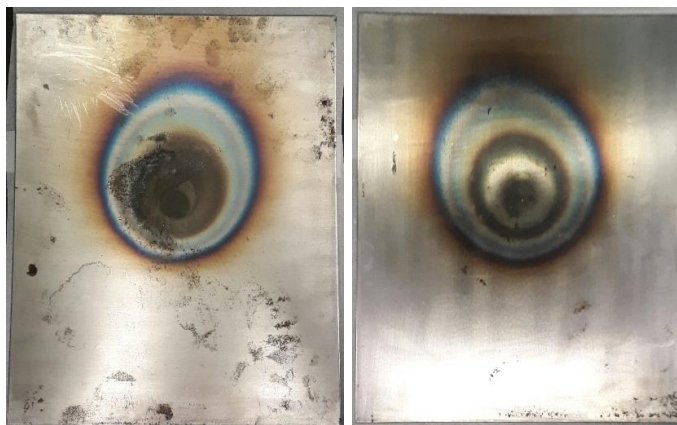


Figura 8. Face anterior e posterior da placa sem revestimento após o ensaio de resistência ao fogo

4 CONCLUSÃO

O objetivo de misturar polímeros condutores eletrônicos com um polímero clássico usado na produção de tintas e posteriormente formar um revestimento protetor é tirar vantagens das propriedades intrínsecas desse material polimérico na proteção de superfícies expostas à ambientes agressivos.

Tanto os polímeros condutores quanto as tintas foram obtidas com sucesso. E observou-se que na proteção passiva contra o fogo, o melhor desempenho foi apresentado pelo revestimento contendo 10% de PAni-ES e 10% de APP, cuja temperatura após 30 min de ensaio não excedeu 330 °C. Nenhuma das formulações testadas apresentou comportamento intumescente do revestimento, uma vez que a camada carbonosa não se expandiu devido à decomposição da fonte de carbono (resina e PAni) durante a incidência da chama. Esse fato pode ser atribuído à baixa geração de gases de expansão durante a decomposição do revestimento. Entretanto, os resultados obtidos até o momento são muito promissores.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES/PNPD e ao CNPq pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- 1 Weil, E.D. Fire-protective and flame-retardant coatings - A state-of-the-art review. **Journal of Fire Sciences**, 29 (2011) 259-238.
- 2 Duquesne, S.; Magnet, S.; Jama, C.; Delobel, R. Intumescent paints: fire protective coatings for metallic substrates. **Surface and Coatings Technology**, 180-181 (2004) 302-307.
- 3 Wang, J. The protective effects and aging process of the topcoat of intumescent fire-retardant coatings applied to steel structures. **Journal of Coatings Technology and Research**, 13 (2016) 143-157.
- 4 Jimenez, M.; Duquesne, S.; Bourbigot, S. Characterization of the performance of an intumescent fire protective coating. **Surface and Coatings Technology**, 201 (2006) 979-987.

- 5 Wu, X.; Qian, X.; An, X. Flame retardancy of polyaniline-deposited paper composites prepared via in situ polymerization. **Carbohydrate Polymers**, 92 (2013) 435-440.
- 6 Duquesne, S.; Magnet, S.; Jama, C.; Delobel, R. Thermoplastic resins for thin film intumescent coatings-towards a better understanding of their effect on intumescence efficiency. **Polymer Degradation and Stability**, 88 (2005) 63-69.
- 7 Alongi, J.; Han, Z.; Bourbigot, S. Intumescence: Tradition versus novelty. A comprehensive review. **Progress in Polymer Science**, 51 (2015) 28-73.
- 8 Jimenez, M.; Bellayer, S.; Revel, B.; Duquesne, S.; Bourbigot, S. Comprehensive study of the influence of different aging scenarios on the fire protective behavior of an epoxy based intumescent coating. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, 52 (2013) 729-743.
- 9 Bandeira, R.M.; Van Drunen, J.; Garcia, A.C.; Tremiliosi-Filho, G. Influence of the thickness and roughness of polyaniline coatings on corrosion protection of AA7075 aluminum alloy. **Electrochimica Acta**, 240 (2017) 215-224.
- 10 Zhang, Y.; Shao, Y.; Liu, X.; Shi, C.; Wang, Y.; Meng, G.; Zeng, X.; Yang, Y. A study on corrosion protection of different polyaniline coatings for mild steel. **Progress in Organic Coatings**, 111 (2017) 240-247.
- 11 Bandeira, R.M.; Van Drunen, J.; Tremiliosi-Filho, G.; Júnior, J.R.S.; Matos, J.M.E. Polyaniline/polyvinyl chloride blended coatings for the corrosion protection of carbon steel. **Progress in Organic Coatings**, 106 (2017) 50-59.
- 12 Babaladimath, G.; Badalamoole, V.; Nandibewoor, S.T. Electrical conducting Xanthan Gum-graft-polyaniline as corrosion inhibitor for aluminum in hydrochloric acid environment. **Materials Chemistry and Physics**, 205 (2018) 171-179.
- 13 Parel, M.M.P.; Armida, V.G.; Herrera, M.U. Morphology and electrical conductivity of polyaniline coating on acetate film. **Surfaces and Interfaces**, 10 (2018) 74-77.
- 14 Gonçalves, G.S.; Baldissera, A.F.; Rodrigues Jr., L.F.; Martini, E.M.A.; Ferreira, C.A. Alkyd coatings containing polyanilines for corrosion protection of mild steel. **Synthetic Metals** 161 (2011) 313-323.
- 15 Baldissera, A. F.; Miranda, K. L.; Bressy, C.; Martin, C.; Margailan, A.; Ferreira, C. A. Using conducting polymers as active agents for marine antifouling paints. **Materials Research**, v. 18(6) (2015) p. 1129-1139.
- 16 Stejskal, J.; Trchová, M.; Brodinová, J.; Sapurina, I. Flame retardancy afforded by polyaniline deposited on wood. **Journal of Applied Polymer Science**, 103 (2007) 24-30.
- 17 Sá, S.C. Tintas Intumescentes com Propriedades Anticorrosivas Formuladas com Compostos Vegetais para Proteção do Aço. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (2017).
- 18 Smits, F.M. **Bell System Technical Journal** (1958) 710.
- 19 Geethalakshmi, D.; Muthukumarasamy, N.; Balasundaraprabhu, R. Effect of dopant concentration on the properties of HCl-doped PANI thin films prepared at different temperatures. **Optik - International Journal for Light and Electron Optics**, 125 (2014) 1307-1310.
- 20 Yang, L.; Cheng, W.; Zhou, J.; Li, H.; Wang, X.; Chen, X. Effects of microencapsulated APP-II on the microstructure and flame retardancy of PP/APP-II/PER composites. **Polymer Degradation and Stability**, 105 (2014) 150-159.
- 21 Baldissera, A.F.; Souza, J.F.; Ferreira, C.A. Synthesis of polyaniline/clay conducting nanocomposites. **Synthetic Metals**, 183 (2013) 69-72.

22 Chen, W.; Wang, L.; Liu, G. Synthesis of ammonium polyphosphate with crystalline form V (APP-V) from melamine polyphosphate (MPP). **Polymer Degradation and Stability**, 97 (2012) 2567-2570.

SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES DE CeO₂ PARA PRODUÇÃO DE SUPERFÍCIES SUPER-HIDROFÓBICAS

Hochudt, M. L.¹

Takimi, A. S.²

¹ Engenheiro Metalúrgico, Marcelo Laert Hochudt, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), marcelo.hochudt@ufrgs.br.

² Professor Doutor, Antonio Shigueaki Takimi, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), as@ufrgs.br.

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

Resumo

A produção de filmes super-hidrofóbicos robustos é uma demanda industrial com alto potencial de utilização. Além da baixa molhabilidade, existe a necessidade de agregar outras propriedades como resistência ao desgaste, o que irá abrir um grande leque de aplicações tecnológicas. Os óxidos de terras raras (OTRs) representam uma opção por apresentar hidrofobicidade intrínseca e alta resistência ao desgaste, segundo o trabalho de Azimi et al. (2013)⁽¹⁾. Entretanto, o trabalho de Preston et al. (2014)⁽²⁾ debate as propriedades desses materiais ao atribuir a hidrofobicidade à adsorção de hidrocarbonetos na superfície dos OTRs. Desta forma, o presente trabalho tem o objetivo de estudar um desses óxidos, o óxido de cério (CeO₂) depositado por spray pirólise como uma opção de material para obtenção de filmes super-hidrofóbicos robustos. A deposição consistiu em uma solução precursora contendo etanol e nitrato de cério hexa-hidratado (Ce(NO₃)₃.6H₂O) foi aspergida sobre uma placa de vidro aquecido, onde aconteceram as reações de formação do filme. Antes da caracterização foi realizado um tratamento térmico sobre os filmes, cujo efeito foi observado nos ensaios subsequentes através de comparação com filmes sem tratamento. Sobre os filmes foram realizados acompanhamento da molhabilidade por medição de ângulo de contato, observação em MEV, análise de perfilometria óptica, DRX e XPS. Os resultados da caracterização apontam a dependência dos filmes de CeO₂ depositados por spray pirólise da adsorção na diminuição de sua molhabilidade, entretanto nenhum filme apresentou hidrofobicidade intrínseca. Além disso, o tratamento térmico não causou alteração estrutural perceptível, mas causou ligeiro aumento do ângulo de contato.

Palavras-chave: CeO₂; spray pirólise; molhabilidade; adsorção.

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF CeO₂ FILMS FOR SUPERHYDROPHOBIC SURFACES PRODUCTION

Abstract

The production of robust superhydrophobic films is an industry demand with high utilization possibility. In addition to the low wettability, there is the need to attain other properties like wear resistance, which will open a wide range of technological applications. The rare-earth oxides (REOs) represent an option by exhibiting intrinsic hydrophobicity and high wear resistance simultaneously, according to the work from

Azimi et al. (2013)⁽¹⁾. However, the work from Preston et al. (2014)⁽²⁾ debates the properties of these materials by regarding its hydrophobicity to the hydrocarbon adsorption on the REOs' surface. Therefore, the present work has the aim of studying one of these oxides, the cerium oxide (CeO₂) deposited by spray pyrolysis as a choice of material for the obtention of robust superhydrophobic films. The deposition consisted of a cerium nitrate hexahydrate (Ce(NO₃)₃·6H₂O) and ethanol precursor solution sprayed on heated glass slides where the film formation reactions occurred. Previously to the characterization an annealing was performed which effect was evaluated in the following testings by comparing with films without annealing. The films were analyzed by monitoring the wettability with contact angle measurement, SEM observation, analysis in optical profilometer, XRD and XPS. The characterization results indicate the CeO₂ films dependency on the hydrocarbon adsorption to decrease their wettability, thus no film presented intrinsic hydrophobicity. Furthermore, the annealing did not cause noticeable structural modification, but caused a slight contact angle increase.

Key words: CeO₂; spray pyrolysis; wettability; adsorption

1 INTRODUÇÃO

Uma superfície é definida como superfície super-hidrofóbica (SSH) se o ângulo de contato estático com a água é superior a 150°⁽³⁾. Além disso a diferença entre o ângulo de avanço e recuo da gota deformada enquanto rola sobre uma superfície inclinada, denominada histerese de ângulo de contato, deve ser menor que 10°⁽⁴⁾. Devido à sua alta repelência contra água, uma vasta gama de aplicações pode incluir essas superfícies, como superfícies autolimpantes, que não aderem gelo, que não apresentam arraste hidrodinâmico, que não oxidam pois repelem eletrólitos aquosos⁽⁵⁾.

O entendimento sobre esse fenômeno já teve suas bases lançadas por Wenzel em 1936⁽⁶⁾ e Cassie e Baxter em 1944⁽⁷⁾, que através de modelos baseados no modelo de Young relacionaram a presença da rugosidade do substrato com uma alteração do ângulo de contato (positiva, para superfícies lisas previamente hidrofóbicas; negativa, para hidrofílicas).

Foi a partir da observação na natureza de animais e plantas que apresentam superfícies em que a água rola facilmente carregando resíduos, ou em que o ar permanece como uma forma de bolsa submersa, que uma compreensão mais completa da super-hidrofobicidade possível. Ao apontar o microscópio eletrônico de varredura para tais estruturas, especificamente a superfície das folhas da flor-de-lótus (*Nelumbo nucifera*), observou-se uma característica especial em que protruções microscópicas na epiderme da planta comportavam um revestimento de cristais nanométricos de cera, numa espécie de estrutura hierárquica⁽⁸⁾.

Estudos subsequentes mostraram que o fenômeno da super-hidrofobicidade é dependente de dois fatores: além da estrutura hierárquica, a superfície precisa estar recoberta por um material com baixa energia superficial.

A fabricação de superfícies super-hidrofóbicas artificiais inspiradas na natureza se divide em duas abordagens:

- criação de estruturas hierárquicas em substratos intrinsecamente hidrofóbicos; ou

- modificação química da superfície previamente texturizada, através da deposição de um material com baixa energia superficial.⁽⁴⁾

Entretanto, superfícies com alta rugosidade geralmente apresentam propriedades mecânicas e tribológicas inferiores ao de superfícies planas e, a SSH sendo dependente dessa rugosidade, estas propriedades estão sendo estudadas para SSH devido ao seu potencial tecnológico⁽⁵⁾. A busca por métodos de deposição de filmes de baixa energia superficial e, ao mesmo tempo, resistentes ao desgaste, é a chave para que esse objetivo seja alcançado.

O trabalho de Azimi et al.⁽¹⁾ apresenta toda a classe de óxidos de terras raras como sendo intrinsecamente hidrofóbicos devido à sua estrutura eletrônica única que inibe as ligações de hidrogênio com as moléculas de água interfaciais. O fato desses óxidos serem cerâmicos e possuírem elevada dureza, poderia viabilizar a construção de uma SSH resistente ao desgaste, abrindo caminho para uma nova gama de aplicações práticas que até então era impensáveis devido à natureza intrinsecamente frágil das SSH produzidas com polímeros hidrofóbicos e surfactantes.

Todavia, o trabalho de Preston et al.⁽²⁾ demonstra através uma série de experimentos e modelamentos que a hidrofobicidade dos óxidos de terras raras se deve à adsorção de hidrocarbonetos, que diminuem a energia superficial. Os resultados ainda indicam que os óxidos de terras raras são hidrofílicos dada a remoção desses hidrocarbonetos adsorvidos, colocando em debate a hidrofobicidade intrínseca exposta por Azimi et al.⁽¹⁾

Em busca de uma escolha de material que produza SSHs robustas, ou seja, que mantenha a super-hidrofobicidade em condições de desgaste abrasivo, o presente trabalho tem como objetivo depositar filmes de CeO_2 através de spray pirólise com uso de uma solução precursora de nitrato de cério hexa-hidratado ($\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) em etanol. O processo de spray pirólise é um método conveniente, versátil, de baixo custo e rápido para deposição de filmes finos de uma grande variedade de compostos.^(9,10) O trabalho de Konstantinov et al.⁽¹¹⁾ é um dos primeiros na obtenção de filmes de CeO_2 por spray pirólise através uma solução precursora de nitrato. Também publicado na mesma época, o trabalho de Elidrissi et al.⁽¹²⁾ discute de uma forma mais completa a deposição de CeO_2 por spray pirólise comparando o uso de dois precursores, tricloreto e nitrato de cério, assim como o estudando o efeito de parâmetros do processo na morfologia do filme.

Através de ensaios de caracterização morfológica (perfilometria óptica, MEV, DRX), química superficial (XPS e ângulo de contato) é feita uma análise da molhabilidade do filme como sendo intrínseca, dependendo apenas de sua estrutura (como sugerido por Azimi et al.⁽¹⁾), ou extrínseca, dependendo da adsorção de radicais que diminuem a energia superficial (como sugerido por Preston et al.⁽²⁾), como etapa para a possível aplicação em filmes super-hidrofóbicos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Síntese dos filmes

2.1.1. Deposição por spray pirólise

Os filmes foram sintetizados por spray pirólise, que consiste na aspersão de uma solução precursora composta por nitrato de cério hexa-hidratado ($\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, Sigma Aldrich, 99,999%) diluído em etanol absoluto (Neon, 99,8%

P.A.) sobre placas de microscópio de vidro (Precision® Glass Line, 26,0x76,0 mm, espessura 1,0-1,2 mm) aquecidas em temperaturas determinadas. O aparato utilizado é apresentado esquematicamente na Figura 1.

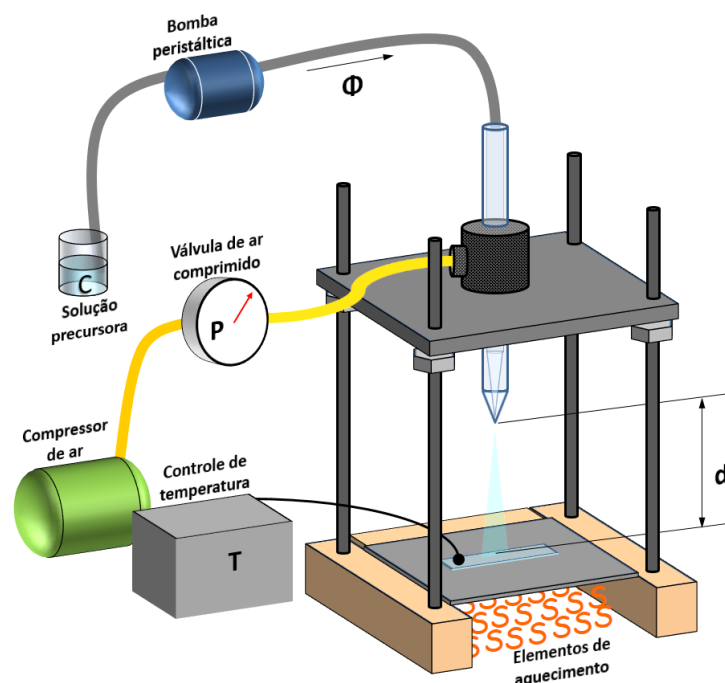


Figura 1. Representação esquemática do equipamento utilizado para a deposição dos filmes por spray pirólise.

A construção do equipamento consiste de duas pipetas alinhadas concêntricamente: uma pipeta de Pasteur interna por onde é transportada a solução precursora com concentração C a um fluxo Φ e outra pipeta comum externa com entrada de ar comprimido a pressão P . Na ponta das duas pipetas alinhadas ocorre atomização da solução, através da mistura entre o ar pressurizado e a solução. A ponta onde ocorre atomização é mantida a uma distância d da placa de aquecimento, que aquece indiretamente o substrato a uma temperatura T medida por um termopar.

Considerando o efeito refrigerante do spray, a deposição ocorreu em ciclos de deposição em uma faixa de temperatura abaixo da medida pelo termopar, quando o spray é desligado e a placa reaquece para um novo ciclo.

A seleção dos parâmetros e dos valores da janela de inspeção se deu a partir da análise da literatura sobre spray pirólise e do óxido de cério depositado por essa técnica. Na Tabela 1 estão apresentados os parâmetros de deposição explorados no estudo.

Tabela 1. Variação dos parâmetros de deposição por spray pirólise para diferentes grupos (em triplicata) de amostras. Fluxo 5 mL/min; concentração 0,1 M; 10 deposições para todos os filmes depositados.

Grupo	Distância [mm]	d	Temperatura T [°C]	Pressão P [kgf/cm ²]
5	70		340-400	1,5
6	100		340-400	1,5
11	70		390-450	1,0
14	70		390-450	1,5

2.1.2. Tratamento térmico dos filmes

Um tratamento térmico dos filmes foi realizado ao aquecer as amostras por 0,5 h a 500°C seguida de resfriamento lento no forno, com o objetivo de observar alteração na cristalinidade e possível efeito na morfologia e/ou molhabilidade dos filmes. Cada amostra foi dividida em duas, sendo que uma foi submetida ao tratamento térmico enquanto a outra permaneceu inalterada. Os ensaios de ângulo de contato, perfilometria, MEV e DRX foi realizado em cada metade a fim de comparar e observar alguma alteração estrutural, cristalográfica ou química superficial induzida pelo ciclo de aquecimento.

2.1.3. Limpeza a plasma

Com o objetivo de eliminar qualquer espécie adsorvida que podem interferir nos ensaios de caracterização da superfície, as amostras foram limpas com plasma atmosférico, conforme os parâmetros descritos na Tabela 2. O ângulo de contato foi medido imediatamente após a limpeza e foi medido novamente em intervalos de tempo até cerca de 200 h após a limpeza.

Tabela 2. Parâmetros da limpeza a plasma atmosférico.

Pressão p	250 μ atm
Potência P	65 W
Distância entre eletrodos d_E	20 cm
Potencial E	4000 V
Corrente i	30 μ A
Tempo t	~1 min

2.2. Caracterização dos filmes

2.2.1. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A superfície dos filmes foi observada em microscópio eletrônico de varredura (MEV JEOL JSM 6060, 10 kV) em diferentes magnificações a fim de constatar o aspecto dos filmes, assim como tentar determinar alguma mudança topográfica induzida pelo tratamento térmico. Anterior à deposição, as amostras foram metalizadas por *sputtering* de ouro, por conta da natureza não-condutora de ambos substrato e revestimento. Com o MEV também foi possível medir a espessura aproximada dos filmes depositados, através do corte transversal feito na região central do filme e posterior análise de imagens em ImageJ, usando a escala da fotografia.

2.2.2. Perfilometria óptica

O aspecto topográfico da superfície ainda foi analisado em perfilômetro óptico (Bruker ContourGT-K 3D), a fim de determinar a rugosidade assim como observar alguma mudança topográfica induzida pelo tratamento térmico ao comparar amostras depositadas com os mesmos parâmetros com e sem tratamento.

2.2.3. Difração de raios X (DRX)

A análise por difração de raios X foi empregada para determinar a fase cristalográfica presente nos filmes de CeO₂, além de certificar a presença do óxido através da transformação do precursor contendo nitrato diluído. Esta análise foi realizada no difratômetro de raios X Philips, modelo X'PERT, operando a 40 kV e 40

mA, com radiação da linha $K\alpha$ do cobre ($\text{Cu } K\alpha \rightarrow \lambda = 1,5418 \text{ \AA}$) a uma velocidade de varredura de $0,05^\circ/\text{s}$ na faixa 2θ entre 0 e 90° , faixa onde se encontram os principais picos da fase cúbica do CeO_2 .

2.2.4. Medição do ângulo de contato

O teste de ângulo de contato foi feito através do método da gota séssil, em que a gota de um líquido (no caso, água destilada e deionizada) com volume conhecido é depositada sobre a superfície do filme por meio de uma micropipeta automática. A gota é observada e fotografada por meio de uma lente de baixo aumento, e o ângulo é determinado com auxílio de software de análise de imagens ImageJ.

2.2.5. Espectroscopia de fotoelétrons excitados por raios X (XPS)

A espectroscopia de fotoelétrons excitados por raios X, XPS (Omicron GmbH, Germany) foi realizada em câmara de ultra-alto vácuo usando um espectrômetro de elétrons convencional equipado com analisador semiesférico e usando os raios X emitidos pela linha $\text{AlK}\alpha$ (energia fotônica de $1486,8 \text{ eV}$) como fonte de excitação. O espectro completo de baixa resolução foi obtido com uma energia de passagem de 50 eV , enquanto que os sinais atômicos selecionados foram adquiridos com uma energia de passagem de 10 eV com maior resolução. No espectro de baixa resolução, a posição do pico $\text{C}-\text{C}/\text{C}-\text{H}$ foi tomada com energia fixa de $285,0 \text{ eV}$ e os outros picos foram definidos sob esse valor. Os espectros para $\text{C } 1s$, $\text{O } 1s$ e $\text{Ce } 3d$ foram analisados.

O objetivo dessa análise foi obter uma caracterização química da superfície do filme e testar a hipótese de adsorção de radicais atmosféricos na definição da molhabilidade do filme. Para tanto, duas análises XPS foram realizadas, uma imediatamente após a limpeza a plasma dos filmes (conforme parâmetros descritos na Tabela 2) e outra em um tempo longo após a limpeza (~ 150 dias), fazendo um paralelo com a evolução do ângulo de contato do momento pós-limpeza até um tempo muito longo após a primeira análise.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Todas as amostras observadas em microscópio eletrônico de varredura (MEV) se apresentaram com morfologia parecida em ambas condições de tratamento térmico, composta por uma base compacta na interface com o substrato e trincas superficiais.

A presença de trincas é prevista para filmes de CeO_2 depositados por spray pirólise usando nitrato como precursor quando a temperatura do substrato excede $400 \text{ }^\circ\text{C}$, devido às tensões térmicas que surgem nos filmes⁽¹¹⁾. Em relação à molhabilidade dos filmes, a presença de trincas altera a rugosidade superficial e contribui para a definição da molhabilidade, conforme os modelos de Wenzel e Cassie-Baxter⁽¹³⁾.

A Figura 2 apresenta duas amostras representativas dos filmes depositados, uma visão superior do filme demonstrando a morfologia e uma vista lateral com a qual se pode ter uma estimativa da espessura que foi medida por software de análise de imagens ImageJ. A Tabela 3 apresenta a média da estimativa de espessura para cada grupo de amostra sem tratamento térmico.

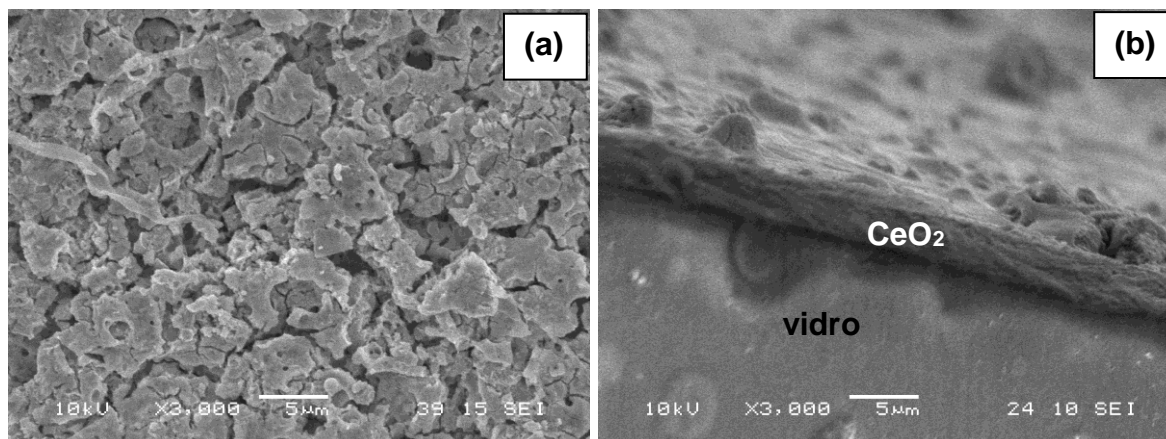


Figura 2. Imagens do filme de CeO₂ depositados por spray pirólise em MEV (a) visão superior da amostra 14 sem tratamento (b) visão lateral da amostra 5 com tratamento (espessura média 3,2 µm).

Tabela 3. Estimativa de espessura do filme de CeO₂ depositado por spray pirólise medida com o auxílio do software de análise de imagens ImageJ.

Amostra	Espessura (µm)
5	1,175
11	3,526
14	0,894

3.2. Perfilometria óptica

Todas amostras analisadas em perfilômetro óptico se mostraram muito similares entre si, não sendo observável efeito dos parâmetros de deposição ou do tratamento térmico realizado. A Figura 3 apresenta o resultado da análise da amostra do grupo 5 sem tratamento térmico.

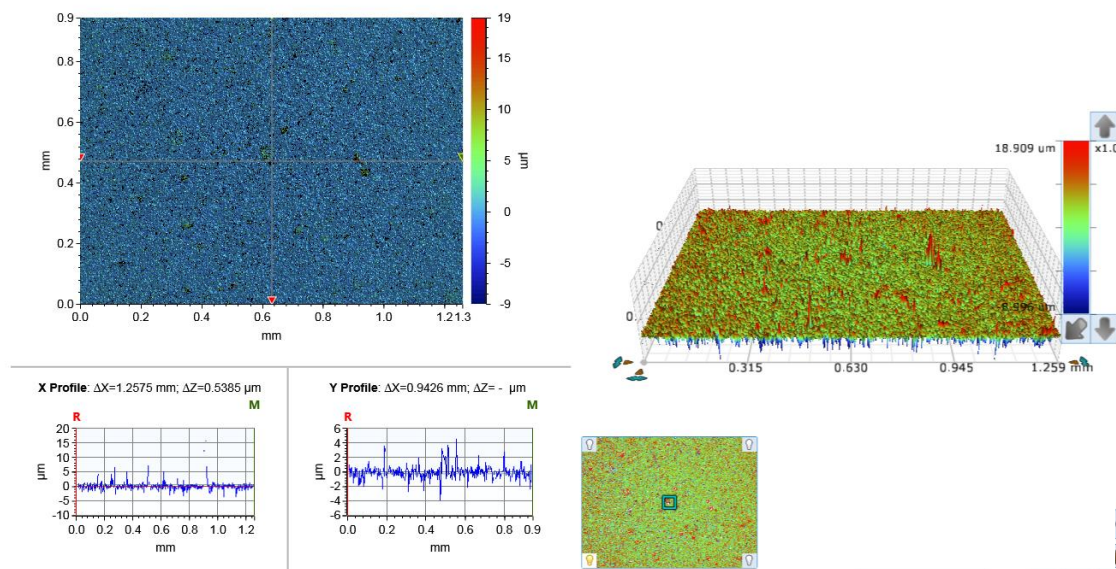


Figura 3. Resultado da perfilometria óptica do filme de CeO₂ depositado por spray pirólise.

A Tabela 4 mostra os resultados de rugosidade medida pelo perfilômetro óptico, definidas pelos parâmetros R_a , R_q e R_z , para os grupos de amostra com e sem tratamento térmico.

Tabela 4. Medição de rugosidade dos filmes de CeO₂ depositados por spray pirólise determinada por perfilometria óptica.

Amostra	Condição tratada	Parâmetro (µm)		
		R _a	R _q	R _z
5	não	0,597	0,900	21,224
	sim	0,607	0,958	21,277
11	não	0,662	1,085	27,904
	sim	0,564	0,790	18,574
14	não	0,855	1,108	15,338
	sim	0,970	1,294	20,961

A escala de rugosidade microscópica se aproxima à medida em diversos estudos sobre super-hidrofobicidade. O estudo de Bico, Thiele e Queré⁽¹⁴⁾ apontam que para rugosidades da ordem de 30 µm, que é a escala típica presente nas folhas de algumas plantas super-hidrofóbicas, as pequenas bolsas de ar que se formam entre a fase sólida e o líquido e impedem que o líquido molhe a superfície podem ser observadas através da gota, que age como uma lupa. No estudo de Dallmann⁽¹⁵⁾, os parâmetros R_a, R_q e R_z para superfícies super-hidrofóbicas biomiméticas baseadas em polímeros são 0,920 µm, 1,304 µm e 8,526 µm, respectivamente, enquanto que superfícies baseadas em vidro são 1,527 µm, 2,195 µm e 26,918 µm, respectivamente. Trdan et al.⁽¹⁶⁾ apresenta valores de R_a entre 2,05-4,06 µm e R_z entre 8,62-15,7 µm para superfícies de aço inoxidável texturizadas a laser. Isso indica que o processo de spray pirólise seria capaz de fabricar a rugosidade necessária para a produção de SSHs, desde que o material depositado possua baixa energia superficial ou que um depósito de rugosidade na escala nanométrica fosse depositado, para que se tenha uma estrutura hierárquica.

3.3. Difração de raios X (DRX)

Os espectros de difração dos filmes de CeO₂ depositados por spray pirólise nas condições com e sem tratamento térmico estão apresentados na Figura 4.

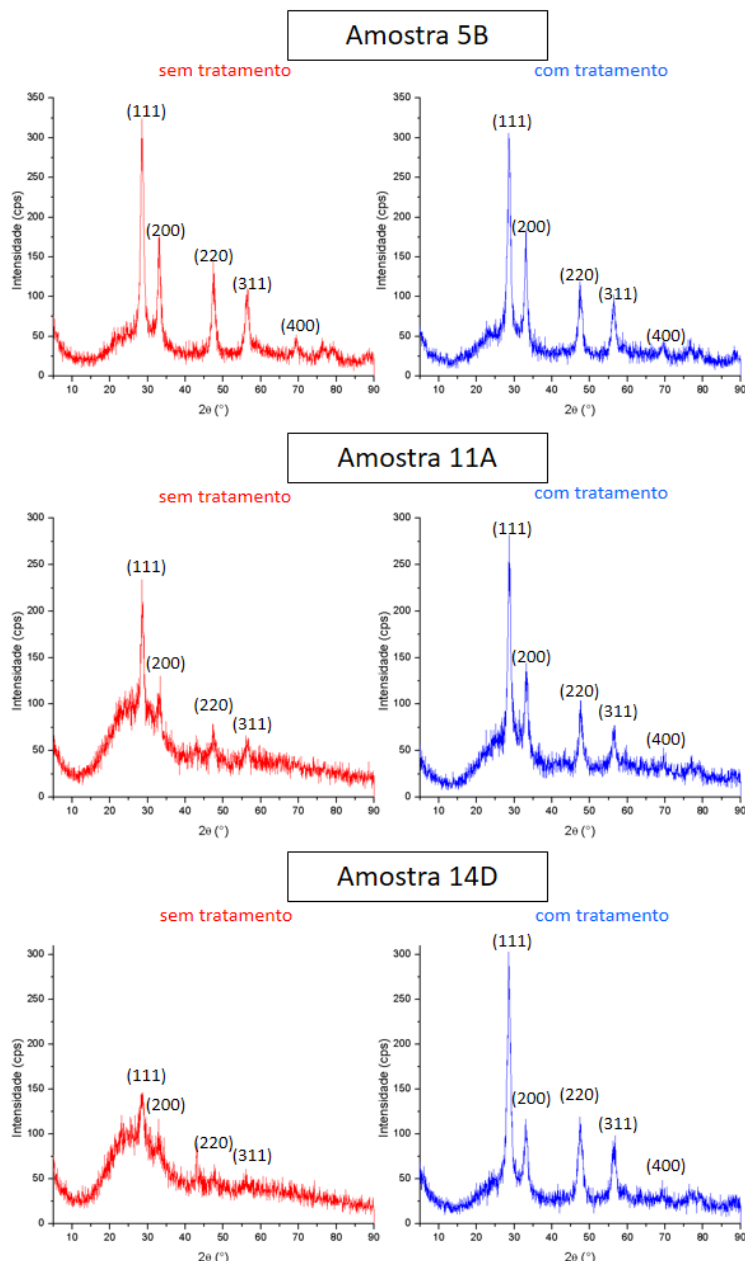


Figura 4. Resultados da análise por difração de raios X dos filmes depositados por spray pirólise com e sem tratamento térmico.

O CeO₂ apresenta estrutura cúbica tipo fluorita (CaF₂), do grupo *Fm3m* desde a temperatura ambiente até a temperatura de fusão.⁽¹⁷⁾ Os espectros obtidos estão em concordância com o cartão de difração do CeO₂ (Arquivo JCPDS N° 34-349) e com os padrões de difração obtidos nos estudos sobre CeO₂ depositado por spray pirólise^(11,12,18-23), indicando portanto a presença única do CeO₂ cúbico. A elevação do *background* entre 10° e 40°, presente em todos espectros, se deve ao fato de os raios X atravessam a espessura do filme e chega ao substrato amorfo.

Em relação ao efeito do tratamento térmico na cristalografia, é observado para a amostra do grupo 5 não há alteração significativa no padrão de difração, ao contrário do que acontece para as amostras representativas dos grupos 11 e 14, onde o tratamento térmico causa uma maior resolução dos picos de difração e redução do ruído, sugerindo que o tratamento térmico aumentou a cristalinidade,

conforme prevê alguns trabalhos de CeO_2 , como Konstantinov et al.⁽¹¹⁾, Petrova, Todorovska e Todorovsky⁽²⁰⁾ e Rupp et al.⁽²⁴⁾.

3.4. Medição do ângulo de contato

O resultado da medição do ângulo de contato está apresentado na Figura 5.

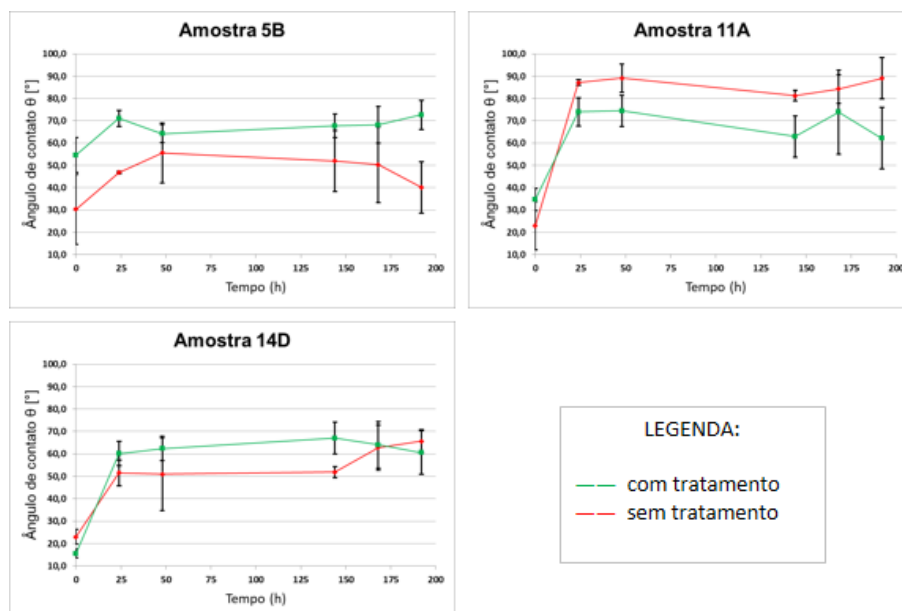


Figura 5. Resultado do acompanhamento da medição do ângulo de contato entre o momento 0 h após a limpeza a plasma e 192 h (8 dias).

Observa-se que para todas amostras na condição limpa a plasma, o ângulo de contato não ultrapassa 60° e chegando a valores menores que 20° , caracterizando como hidrofílicas nesse momento. Com a progressão do tempo, todas amostras ficaram mais hidrofóbicas, comportamento observado nos trabalhos que corroboram com a hipótese de adsorção de espécies orgânicas apolares (hidrocarbonetos) oriundas da atmosfera^(2,25). A Figura 6 apresenta o resultado de Preston et al.⁽²⁾, descrevendo um comportamento similar ao encontrado neste trabalho.

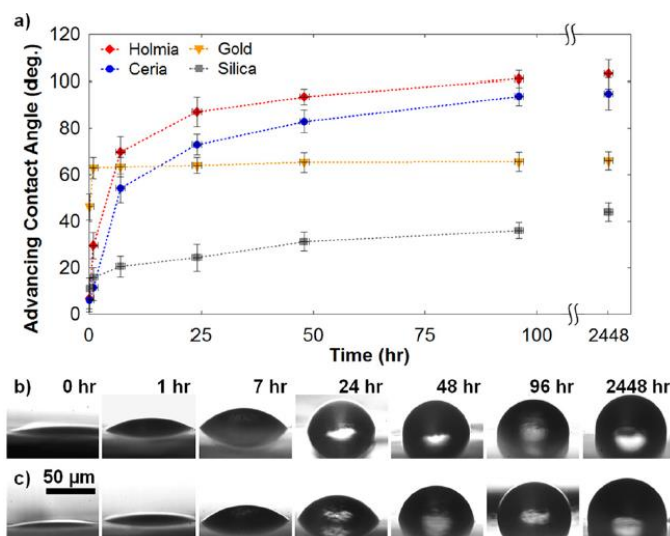


Figura 6. (a) Ângulo de contato médio em função do tempo para hólmia (HoO_2) e céria (CeO_2) em função do tempo, comparando com ouro e sílica, exposto ao ar (temperatura $\sim 25^\circ\text{C}$, umidade $\sim 35\%$)

com $t = 0$ no instante após a limpeza com bombardeamento de íons de argônio. O ângulo de contato aumenta assintoticamente com o tempo para cada amostra. Imagens representativas da evolução do ângulo de contato para (b) HoO_2 e (c) CeO_2 . Adaptado de Preston et al.⁽²⁾.

Quanto ao efeito do tratamento térmico na molhabilidade dos filmes, não é possível estabelecer uma correlação visto que cada amostra se comporta de uma forma distinta. Na amostra do grupo 5, o filme com tratamento térmico sempre apresenta ângulo de contato maior do que na condição sem tratamento durante todo o tempo de análise. Para a amostra do grupo 11, apesar de começar com ângulo mais baixo, o filme na condição sem tratamento se mostra com ângulo maior do que a condição com tratamento durante a progressão. Já para a amostra do grupo 14, há alternância para qual condição o ângulo de contato médio é maior. Apesar disso, a tendência a se tornar hidrofóbico ao longo do tempo também aparece nas amostras tratadas termicamente, o que corrobora com a hipótese de adsorção de hidrocarbonetos da atmosfera independente do tratamento.

3.5. Espectroscopia de fotoelétrons excitados por raios X (XPS)

O resultado da análise de XPS de um dos filmes de CeO_2 depositado por spray pirólise está presente na Figura 7, comparando as condições imediatamente após a limpeza a plasma e em um tempo longo exposto ao ar (~150 dias).

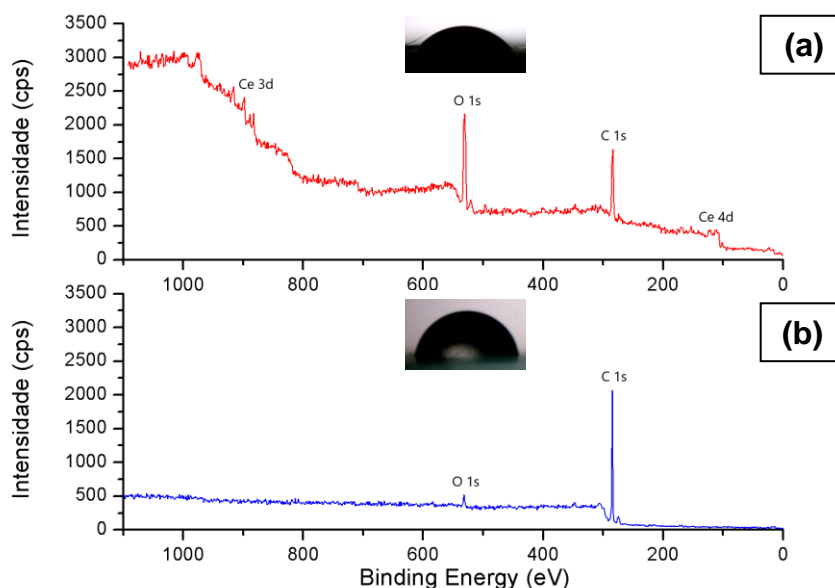


Figura 7. Resultado da análise *survey* de XPS do filme depositado por spray pirólise (grupo 5) nas condições (a) logo após a limpeza a plasma e (b) aproximadamente 150 dias após a primeira análise exposto ao ar. Uma miniatura do ensaio de ângulo de contato é colocado junto a cada gráfico para ilustrar o aumento do ângulo de contato causado pela adsorção de radicais atmosféricos.

O espectro da amostra na condição limpa a plasma apresenta picos significativos de cério em dois estados (Ce 4d e Ce 3d), oxigênio (O 1s) e carbono (C 1s), condizente com os espectros XPS obtidos em outros trabalhos sobre CeO_2 ^(12,22,26,27).

Após a exposição ao ar por aproximadamente 150 dias, o espectro *survey* de XPS se alterou consideravelmente ao mascarar os picos resultantes do cério, diminuir o pico relacionado ao oxigênio e aumentar o pico relacionado ao carbono. Como o XPS é uma análise superficial que se baseia em uma espessura da ordem

de poucas camadas atômicas, essa presença de carbono pode estar associado à adsorção de hidrocarbonetos da atmosfera durante a exposição ao ar. Esse resultado entra em concordância com o estudo de Preston et al.⁽²⁾, como apresenta a Figura 9.

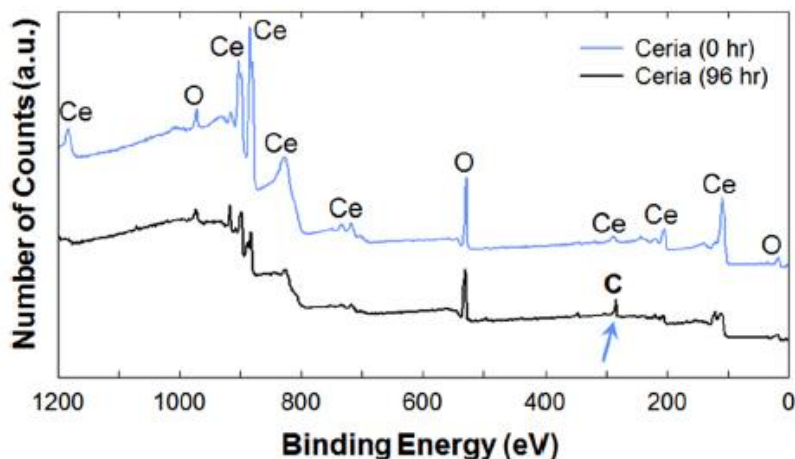


Figura 9. Espectro *survey* do CeO₂ imediatamente após o bombardeamento com íons de argônio (0 h) e 4 dias após de exposição ao ar (96 h). Se observa o desenvolvimento de um pico de carbono que não estava presente em 0 h, indicado por uma seta, o que confirma a adsorção de hidrocarbonetos na superfície. O espectro a 0 h foi movido verticalmente para fins de comparação com o outro espectro. Adaptado de Preston et al.⁽²⁾.

A presença de um pico significativo de carbono na condição limpa a plasma da Figura 8a pode estar associado ao fato de que o processo de spray pirólise, em contraste com outras técnicas de preparação de filmes finos, resulta filmes que contêm traços de carbono e hidroxila oriundos da solução precursora⁽²⁴⁾.

O trabalho de Khan et al.⁽²⁸⁾, realizado no mesmo grupo de pesquisa do trabalho de Azimi et al.⁽¹⁾ e Preston et al.⁽²⁾, introduz mais um elemento que pode definir a molhabilidade do CeO₂, que é a razão O/Ce na superfície. O CeO₂ depositado por *sputtering* é hidrofílico pois a razão é de aproximadamente 3, o que resulta em um ângulo de contato $\theta \sim 15^\circ$. Um tratamento de relaxamento superficial, que consiste em exposição do depósito em câmara de vácuo ultra-alto por 14 h, leva a uma razão O/Ce $\sim 2,2$, próximo à estequiometria CeO₂, resultando em um ângulo de contato de $\theta \sim 104^\circ$. Medidas de XPS em revestimentos depositados por *sputtering* de CeO₂ e Al₂O₃ apontam aproximadamente o mesmo teor de carbono superficial ($\sim 15\%$), porém com ângulo de contato distinto, de 104° e 45° , respectivamente, o que indica que apenas a adsorção de hidrocarbonetos não é suficiente para explicar a hidrofobicidade dos óxidos de terras raras.

A química da superfície do CeO₂ é estudada em detalhe por Mullins⁽²⁹⁾ em relação a diversos compostos inorgânicos e orgânicos, a fim de explorar a atividade catalítica do CeO₂. A energia de formação de vacâncias de oxigênio na superfície é 30% menor do que no interior, o que indica que reações de adsorção que envolvam troca de oxigênio ocorrem com mais facilidade.

O aumento do ângulo de contato e a alteração do espectro de XPS entre as condições limpas a plasma e muito tempo após exposição ao ar sugere a modificação da superfície pela adsorção de orgânicos voláteis apolares com baixa energia de superfície vindos da atmosfera⁽²⁾. Embora estes compostos estejam presentes em baixas concentrações na atmosfera, a exposição ao ar urbano garante que haja uma monocamada sobre a superfície após uma semana⁽²⁵⁾.

4 CONCLUSÕES

Filmes de CeO₂ foram depositados por spray pirólise em placas de vidro a partir de uma solução precursora de nitrato de cério hexa-hidratado e etanol. Os ensaios de caracterização da estrutura mostraram que os filmes apresentam uma rugosidade devido à trincas superficiais originadas do processo. Os filmes se mostraram cristalinos, com uma estrutura cúbica da fluorita, tendo o tratamento térmico realizado sobre os filmes realçado os picos de difração. Os ensaios de caracterização da superfície apontam a dependência da molhabilidade do filme da adsorção de compostos orgânicos voláteis vindos da atmosfera, devido ao aumento do ângulo de contato com o tempo a partir da superfície limpa a plasma, e a diferença do espectro de XPS obtido para as condições limpa a plasma e exposta ao ar por 150 dias.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer aos recursos do CNPq e CAPES, aos laboratórios LACER, LAPEC, LAMAS e ao Centro de Microscopia e Microanálise (CMM) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

REFERÊNCIAS

- 1 AZIMI, G et al. Hydrophobicity of rare-earth oxide ceramics. **Nature Materials**, v. 12, n. 4, p. 315-320, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/nmat3545>>. Acesso em: 8 set. 2018.
- 2 PRESTON, D. J. et al. Effect of hydrocarbon adsorption on the wettability of rare earth oxide ceramics. **Applied Physics Letters**, v. 105, n. 011601, p. 0-5, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1063/1.4886410>>. Acesso em: 16 set. 2018.
- 3 NOSONOVSKY, M.; BHUSHAN, B. **Multiscale Dissipative Mechanisms and Hierarchical Surfaces**. Berlim: Springer, 2008.
- 4 SHIRTCLIFFE, N. J. et al. An introduction to superhydrophobicity. **Advanced Colloid Interface Science**, v. 161, n. 1-2, p. 124-138, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cis.2009.11.001>>. Acesso em: 5 set. 2018.
- 5 NAKAJIMA, A.; HASHIMOTO, K.; WATANABE, T. Recent studies on superhydrophobic films. **Monatshefte fur Chemie**, v. 132, n. 1, p. 31-41, 2001. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s007060170142>>. Acesso em: 13 set. 2018.
- 6 WENZEL, R. N. Resistance of solid surfaces to wetting by water. **Industrial and Engineering Chemistry**, v. 28, n. 8, p. 988-994, 1936. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1021/ie50320a024>>. Acesso em: 12 set. 2018.
- 7 CASSIE, A. B. D.; BAXTER, S. Wettability of porous surfaces. **Transactions of the Faraday Society**, v. 40, n. 5, p. 546-551, 1944. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1039/TF9444000546/>>. Acesso em: 12 set. 2018.
- 8 YAN, Y. Y.; GAO, N.; BARTHLOTT, W. Mimicking natural superhydrophobic surfaces and grasping the wetting process: A review on recent progress in

- preparing superhydrophobic surfaces. **Advanced Colloid Interface Science**, v. 169, n. 2, p. 80-105, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cis.2011.08.005>>. Acesso em: 5 set. 2018.
- 9 MOONEY, J. B.; RADDING, S.B. Spray pyrolysis processing. **Annual Review of Materials Science**, v. 12, p. 81-101, 1982. Disponível em: <<https://doi.org/10.1146/annurev.ms.12.080182.000501>>. Acesso em: 8 set. 2018.
- 10 PATIL, P. S. Versatility of chemical spray pyrolysis technique. **Materials Chemistry and Physics**, v. 59, n. 3, p. 185-198, 1999. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0254-0584\(99\)00049-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0254-0584(99)00049-8)>. Acesso em: 5 set. 2018.
- 11 KONSTANTINOV, K. et al. Preparation of ceria films by spray pyrolysis method. **International Journal of Inorganic Materials**, v. 2, n. 2-3, p. 277-280, 2000. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S1466-6049\(00\)00024-6](http://dx.doi.org/10.1016/S1466-6049(00)00024-6)>. Acesso em: 5 set. 2018.
- 12 ELIDRISSI, B. et al. Structural and optical properties of CeO₂ thin films prepared by spray pyrolysis. **Thin Solid Films**, v. 379, n. 1-2., p. 23-27, 2000. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0040-6090\(00\)01404-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0040-6090(00)01404-8)>. Acesso em: 5 set. 2018.
- 13 QUÉRÉ, D. Rough ideas on wetting. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 313, n. 1-2, p. 32-46, 2002. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4371\(02\)01033-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4371(02)01033-6)>. Acesso em: 13 set. 2018.
- 14 BICO, J.; THIELE, U.; QUÉRÉ, D. Wetting of textured surfaces. **Colloids Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 206, n. 1-3, p. 41-46, 2002. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0927-7757\(02\)00061-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0927-7757(02)00061-4)>. Acesso em: 13 set. 2018.
- 15 DALLMANN, M. S. S. **Reinigung superhydrophober Oberflächen**. 2011. 118 f. Tese de doutorado – Lehrstuhl für Physikalische Chemie II, Technischen Universität Dortmund, Dortmund, 2011. Disponível em: <<https://eldorado.tu-dortmund.de/bitstream/2003/29168/1/Dissertation.pdf>>. Acesso em: 12 set. 2018.
- 16 TRDAN, U.; HOČEVAR, M.; GREGORČIČ, P. Transition from superhydrophilic to superhydrophobic state of laser textured stainless steel surface and its effect on corrosion resistance. **Corrosion Science**, v. 123, n. 1, p. 21-26, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.corsci.2017.04.005>>. Acesso em: 12 set. 2018.
- 17 MOGENSEN, M.; SAMMES, N. M.; TOMPSETT, G. A. Physical, chemical and electrochemical properties of pure and doped ceria. **Solid State Ionics**, v.129, n. 1, p. 63-94, 2000. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0167-2738\(99\)00318-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-2738(99)00318-5)>. Acesso em: 5 set. 2018.
- 18 WANG, S. et al. Preparation and characterization of cerium (IV) oxide thin films by spray pyrolysis method. **Solid State Ionics**, v. 133, n. 3, p. 211-215, 2000. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0167-2738\(00\)00762-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-2738(00)00762-1)>. Acesso em: 12 set. 2018.
- 19 EL IDRISSE, B. et al. Sprayed CeO₂ thin films for electrochromic applications. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 69, n. 1, p. 1-8, 2001. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0927-0248\(00\)00254-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0927-0248(00)00254-3)>. Acesso em: 8 set. 2018.
- 20 PETROVA, N. L.; TODOROVSKA, R. V.; TODOROVSKY, D. S. Spray-pyrolysis deposition of CeO₂ thin films using citric or tartaric complexes as starting materials. **Solid State Ionics**, v. 177, n. 5-6, p. 613-621, 2006.

- Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ssi.2005.11.013>>. Acesso em: 5 set. 2018.
- 21 DE SOUZA, J.; SILVA, A. G. P. da; PAES, H. R. Synthesis and characterization of CeO₂ thin films deposited by spray pyrolysis. **Journal of Materials Science: Materials in Electronics**, v. 18, n. 9, p. 951-956, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10854-007-9287-4>>. Acesso em: 16 set. 2018.
- 22 SURESH, R. et al. Influence of substrate temperature on the properties of CeO₂ thin films by simple nebulizer spray pyrolysis technique. **Ceramics International**, v. 40, n. 1., p. 437-445, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2013.06.020>>. Acesso em: 8 set. 2018.
- 23 SILVA, T. G. et al. Low-defect CeO₂ films synthesis by combined spray pyrolysis using different precursors. **Applied Physics A: Materials Science and Processing**, v. 118, n. 4, p. 1489-1494, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s00339-014-8914-1>>. Acesso em: 8 set. 2018.
- 24 RUPP, J. L. M. et al. Chemical analysis of spray pyrolysis gadolinia-doped ceria electrolyte thin films for solid oxide fuel cells. **Chemistry of Materials**, v. 19, n. 5, p. 1134-1142, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1021/cm061449f>>. Acesso em: 5 set. 2018.
- 25 KÜLAH, E. et al. Surface chemistry of rare-earth oxide surfaces at ambient conditions: Reactions with water and hydrocarbons. **Scientific Reports**, v. 7, n. 3, p. 1-10, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/srep43369>>. Acesso em: 5 set. 2018.
- 26 ÖZER, N. Optical properties and electrochromic characterization of sol-gel deposited ceria films. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 68, n. 3-4, p. 391-400, 2001. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0927-0248\(00\)00371-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0927-0248(00)00371-8)>. Acesso em: 16 set. 2018.
- 27 BHOSALE, A. K. et al. Effective utilization of spray pyrolyzed CeO₂ as optically passive counter electrode for enhancing optical modulation of WO₃. **Solid State Ionics**, v. 180, n. 23-25, p. 1324-1331, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ssi.2009.07.007>>. Acesso em: 5 set. 2018.
- 28 KHAN, S. et al. Role of surface oxygen-to-metal ratio on the wettability of rare-earth oxides. **Applied Physics Letters**, v. 106, n. 6, p. 0-5, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1063/1.4907756>>. Acesso em: 5 set. 2018.
- 29 MULLINS, D. R. The surface chemistry of cerium oxide. **Surface Science Reports**, v. 70, n. 1, p. 42-85, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.surfrep.2014.12.001>>. Acesso em: 5 set. 2018.

ESTUDO DO NÍVEL DE CONTAMINAÇÃO DO ÓLEO LUBRIFICANTE COM ÁGUA EM BOMBAS CENTRÍFUGAS

Cabreira, M. R.¹
De Barba Junior, D.J.²

¹ Engenheira Mecânica, Miriam Ribeiro Cabreira, IFSul, miriam.cabreira@gmail.com

² Doutor, Durval João De Barba Junior, IFSul, debarbajr@sapucaia.ifsul.edu.br

Resumo

As bombas centrífugas são equipamentos essenciais para o funcionamento de determinadas indústrias. Para garantir a disponibilidade de operação, os setores de produção e de manutenção realizam o rodízio de operação. Nas bombas centrífugas, com a lubrificação dos mancais em banho de óleo e selagem da caixa feita por labirintos, o rodízio é praticado semanalmente, uma vez que os labirintos não vedam totalmente a caixa de mancal, permitindo a entrada de umidade quando as bombas estão paradas. Aumentar o período de rodízio é de interesse desta empresa. Para isto é necessário verificar a real contaminação do óleo com água, pois a contaminação com água pode, dependendo da concentração, reduzir drasticamente a vida útil do rolamento, ou ainda, causar falha abrupta deste, propagando falhas em outros componentes com consequências graves, como abertura do selo mecânico. O estudo foi realizado por amostragem, seguindo critérios de seleção relacionados à construção da bomba centrífuga, disponibilidade operacional, dentre outros. O óleo lubrificante foi amostrado e encaminhado para análise quanto ao teor de umidade. Os resultados obtidos apresentaram diferença bastante relevante quanto ao tipo de bomba. As bombas com rotor em balanço, que possuem uma caixa de mancal, apresentaram um padrão de contaminação ficando abaixo do limite de 100 ppm, garantindo a durabilidade do rolamento. Já as bombas biapoiadas, que possuem duas caixas de mancal, apresentaram um padrão de contaminação aleatório que, em alguns casos, foi muito elevado. O estudo concluiu que é possível estender o rodízio para as bombas com apenas uma caixa de mancal, com a recomendação de, a longo prazo, efetuar a troca da vedação de labirintos por selo visando reduzir ainda mais a possibilidade de contaminação. Já para as bombas biapoiadas, a extensão do rodízio só poderá ocorrer após a troca da vedação das caixas seguida de avaliação para certificar que a contaminação foi reduzida.

Palavras-chave: Bombas Centrífugas. Lubrificação. Contaminação.

A STUDY OF THE CONTAMINATION LEVEL OF LUBRICANT OIL WITH WATER IN CENTRIFUGAL PUMPS

Abstract

Centrifugal pumps are essential equipment for the operation of certain industries. To ensure the availability of operation, the production and maintenance sectors perform the rotation of operation. In centrifugal pumps, lubricating the bearings in oil bath and housing bearings sealing made by labyrinths, the rotation is practiced weekly, since the labyrinths do not completely seal the housing bearings, allowing the entry of moisture when the pumps are stopped. Increasing the rotation period is in the interest

of this company. For this, it is necessary to check the actual contamination of the oil with water, as the contamination with water can, depending on the concentration, reduce the bearing life dramatically, or cause it to fail abruptly, propagating faults in other components with serious consequences, such as opening of the mechanical seal. The study was performed by sampling, following selection criteria related to the construction of the centrifugal pump, operational availability, among others. The lubricating oil was sampled and sent for analysis for moisture content. The results obtained showed a significant difference in the type of pump. Rocker-rotor pumps, which have a bearing housing, have a contamination pattern below the 100 ppm limit, ensuring bearing durability. The biapoiada pumps, which have two bearing housings, presented a pattern of random contamination that, in some cases, was very high. The study concluded that it is possible to extend castor to pumps with only one housing bearing, with the recommendation that, in the long term, the exchange of the seal labyrinth seal be made to further reduce the possibility of contamination. For biapoided pumps, the castor extension can only occur after the exchange of the carton seal, followed by evaluation to verify that the contamination has been reduced.

Key words: Centrifugal Pumps. Lubrication. Moisture.

1 INTRODUÇÃO

A manutenção preditiva é uma área da manutenção que visa aumentar a disponibilidade dos equipamentos industriais e antecipar falhas que possam ter consequências catastróficas. Desta forma, além de reduzir custos com manutenção, aumenta o rendimento do parque industrial.

As bombas hidráulicas são equipamentos destinados a promover transferência de fluido, sendo muito utilizadas em diversas áreas. Em certas indústrias, quando o uso de bombas é fundamental para o setor de produção, utiliza-se esses equipamentos em redundância, onde mais de um equipamento executa mesma função. Manter a disponibilidade máxima destes equipamentos é responsabilidade dos setores de manutenção e produção que, em conjunto, mantêm rotinas que visam reduzir incidência de falhas, bem como monitorar sintomas que possam identificar a possibilidade de falha. Uma das rotinas praticadas é o rodízio das bombas. O rodízio consiste em operar com as bombas alternadamente. O período de rodízio é determinado conforme algumas variáveis como regime de operação, características mecânicas do equipamento, dentre outras.

Nas bombas centrífugas que possuem caixas de mancais com lubrificação por banho de óleo e selagem das caixas por labirintos é praticado o rodízio semanal devido ao risco de contaminação do óleo com umidade do ar. Isto ocorre uma vez que a selagem por labirintos é bastante eficiente para evitar o vazamento de óleo das caixas quando o eixo está rodando. No entanto, quando as bombas estão paradas, permitem a entrada de ar e em consequência de umidade.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho é determinar a possibilidade de extensão do período de rodízio de bombas centrífugas com lubrificação em banho de óleo de uma indústria.

As bombas hidráulicas são equipamentos destinados a transformar energia mecânica em energia hidráulica, visando transportar um fluido, conferindo-lhe energia cinética (velocidade) e potencial (pressão)⁽¹⁾.

O princípio de funcionamento das bombas centrífugas está fundamentado na

transferência de energia cinética de rotação de um impelidor que, por meio da força centrífuga (força inercial), acelera o fluido conferindo-lhe velocidade. As principais partes de uma bomba centrífuga são⁽¹⁾⁽²⁾:

- ⑩ **Rotor, impelidor ou impulsor:** é um disco que contém as pás ou palhetas.
- ⑩ **Carcaça:** é o invólucro que contém o impelidor e o líquido.
- ⑩ **Eixo:** componente onde o impelidor é fixado e ligado ao equipamento propulsor (motor elétrico, turbina a vapor etc.)
- ⑩ **Mancais:** componente que sustenta o eixo mantendo-o alinhado.
- ⑩ **Caixas de Mancais:** componente onde são montados os mancais e que contém o lubrificante destes.
- ⑩ **Selagem:** componente que faz a vedação entre as partes rotativas e estacionárias para evitar o vazamento do produto bombeado (carcaça e eixo) ou do fluido lubrificante (caixa de mancais e eixo).

Os mancais de bombas têm a função de manter o conjunto rotativo em alinhamento com os componentes estacionários e suportar cargas que são compostas pelo peso do impelidor e do eixo, cargas hidráulicas provocadas pelo processo de bombeamento e as cargas derivadas do equipamento propulsor. Estas cargas podem ser decompostas em duas direções: axial (paralelo ao eixo) e radial (perpendicular ao eixo). Em bombas centrífugas, os mancais de rolamentos são os mais utilizados⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾.

As bombas multiestágios possuem os impelidores centralizados no eixo e este apoiado por dois mancais localizados um em cada lado da carcaça. Já as bombas simples estágio possuem o impelidor em balanço, apoiado por dois mancais localizados do mesmo lado. Os mancais são montados em caixas que podem fazer parte da estrutura da bomba ou serem componentes anexos à essa estrutura. Elas também têm a função de armazenar o lubrificante garantindo aos mancais a correta lubrificação e refrigeração⁽⁴⁾.

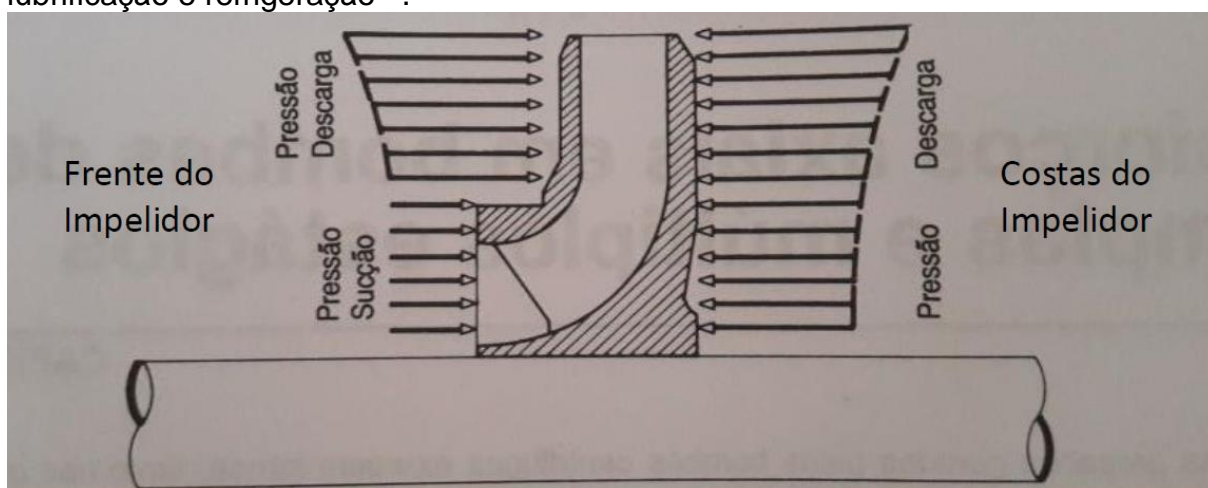


Figura 1: Atuação da pressão hidráulica axial num impelidor simples estágio⁽²⁾.

As cargas a que os mancais estão submetidos são as radiais, axiais ou uma combinação destas. Nas bombas centrífugas, os esforços axiais devem-se à

assimetria na construção do impelidor bem como à diferença de pressão entre o lado da sucção e o da descarga, provocando uma força resultante chamada de impulso axial. A Figura 1 demonstra como as pressões, de sucção e descarga, estão distribuídas na área de um impelidor simples estágio. Lembrando que força é resultado da pressão exercida em uma determinada área conforme a Equação 1, a força nas costas do impelidor será maior do que na frente tendo como força axial resultante uma força que empurra o conjunto rotativo para a sucção⁽²⁾.

(1)

Nas bombas com múltiplos estágios, as forças resultantes de cada impelidor se somam, tornando, desta forma, o empuxo axial mais significativo. Em bombas pequenas geralmente o mancal é capaz de suportar esse desbalanceamento axial, mas, em bombas médias, grandes ou ainda em bombas multiestágios, utilizam-se alguns recursos extras como furos de balanceamento, pás na parte posterior, disco ou tambor de balanceamento e diferentes arranjos nos impelidores buscando um balanceamento das forças axiais⁽²⁾.

A carga radial hidráulica dos mancais ocorre devida às diferenças de velocidade de escoamento ao longo da carcaça. Esta velocidade desigual provoca uma distribuição de pressão não uniforme na superfície do impelidor, produzindo uma força resultante na direção radial⁽⁵⁾.

Os rolamentos são componentes que têm a função de unir uma parte estacionária a uma parte rotativa de determinado equipamento, permitindo um movimento relativo entre componentes da máquina. Nas bombas, o rolamento fixa o eixo à parte estacionária, que é a caixa de mancal. Nos mancais de rolamentos, as cargas são transferidas por contato rolante, em lugar de contato de deslizamento⁽⁷⁾.

Os rolamentos devem ser escolhidos apropriadamente para o mancal que irá sofrer cada tipo de esforço. Nas bombas centrífugas com impelidor em balanço, geralmente no mancal do lado acoplado (LA) é montado um rolamento ou mais rolamentos, com diferentes configurações, para suportar os dois esforços, radial e axial, enquanto que no mancal montado próximo ao selo mecânico, o mancal lado oposto ao acoplamento – LOA, são montados rolamentos para carga radial⁽⁸⁾.

Os rolamentos possuem a vida útil calculada pela fadiga. A vida nominal do rolamento é calculada conforme a ISO 281 dada pela Equação 2, cujos parâmetros são: L_{10h} – vida útil em horas, C – classificação da carga dinâmica básica, P – carga dinâmica equivalente do rolamento, n – rotações por minuto (rpm) e p – expoente da equação de vida (3 para esferas e 10/3 para rolos). Se as cargas forem mantidas dentro dos limites, a vida útil poderá ser de cinquenta anos ou mais. No entanto, a maioria dos mancais falham muito antes e as principais causas são contaminações do lubrificante e calor em excesso⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾.

(2)

Os mancais de bombas são montados em caixas que contém o lubrificante. A lubrificação tem como objetivo reduzir o atrito, dissipar o calor, proteger os componentes contra corrosão e evitar a entrada de partículas. A lubrificação de rolamentos pode ser por óleo ou graxa. Nas bombas, geralmente é usado óleo enquanto que em motores elétricos o uso de graxa é bastante usual. Os mancais de deslizamento utilizam como lubrificante o óleo podendo ser em banho de óleo ou óleo circulante. Sendo o foco desse estudo os mancais de rolamento de bombas, então serão apresentados a seguir os tipos de lubrificação para essa aplicação⁽²⁾.

Para mancais de rolamentos as principais formas de lubrificação por óleo são:

banho de óleo com anel pescador, névoa de óleo (*oil-mist*) e, para bombas de grande porte, óleo circulante usualmente refrigerado⁽⁸⁾.

Na unidade em estudo, a lubrificação dos rolamentos é feita por banho de óleo. Neste sistema, a caixa de mancais é preenchida com óleo até a altura da metade da esfera inferior do rolamento. Um copo de óleo, montado externamente à caixa, mantém a reposição automática do óleo quando o nível fica abaixo do nível desejado. Quando o nível do copo de óleo fica abaixo da metade, esse é retirado do suporte e enchido totalmente e recolocado no suporte (rotina operacional). A parte superior da caixa tem abertura para atmosfera para manter a caixa despressurizada. Desta forma, quando o copo de óleo é retirado não ocorre vazamento do conteúdo da caixa e permite a reposição automática de óleo do copo para a caixa. Estas caixas ainda possuem um anel pescador que, acionado pelo eixo, espalha o óleo por toda a caixa para garantir a lubrificação, dissipar o calor e formar uma película que evita a corrosão da caixa⁽²⁾.

O sistema de banho de óleo com a caixa de mancais equalizada com a atmosfera permite a entrada de ar e em consequência de contaminantes. Outros sistemas foram desenvolvidos com o objetivo de evitar esse problema. Um destes sistemas é a caixa de mancal selada com equalização da caixa de mancais com o copo de óleo. Nesse sistema, a parte superior é selada para não ter contato com a atmosfera mas para garantir a reposição automática de óleo é montada uma tubulação de pequeno diâmetro e conecta a caixa com a base do copo⁽⁸⁾.

As bombas em estudo possuem o sistema de lubrificação com banho de óleo com caixa equalizada para a atmosfera. Para evitar o vazamento do óleo da caixa para a atmosfera é feita uma selagem entre o eixo e a caixa por labirintos. No entanto, é desejável que a umidade e contaminantes não entrem na caixa de mancal, uma vez que a durabilidade do rolamento depende de um lubrificante limpo e isento de umidade⁽⁸⁾.

Segundo Nobrega⁽¹⁰⁾ existem duas famílias de protetores de mancais:

- ⑩ **Restritivo:** veda quanto à entrada de líquidos e saída do óleo, mas vapores circulam livremente.
- ⑩ **Hermético:** veda completamente a caixa, quanto à líquidos e vapores

Os labirintos convencionais são do tipo restritivo. Quando em operação, as caixas de mancais possuem a tendência de aumentar a pressão interna e os labirintos convencionais acomodam esse aumento de pressão permitindo a expulsão do ar quente entre os elementos rotativos e estacionários conforme apresentado na Figura 2 (esquerda). No entanto, quando o equipamento para, a caixa esfria e o labirinto não evita a entrada do ar do ambiente para a caixa, conforme demonstrado na Figura 2 (direita). Esse fenômeno é denominado respiração da caixa de mancal. Outros fatores favorecem a entrada de umidade, como a variação da temperatura ambiente, dia e noite, ambiente muito úmido, ou se estiverem próximos a equipamentos que liberem vapor. Nestas situações as bombas no ciclo de reserva por períodos prolongados poderão ter a relação umidade-óleo muito prejudicada⁽¹¹⁾⁽¹²⁾.

Figura 2: Labirinto convencional com eixo e rotação (esquerda) e estacionário (direita)(12).

A presença de água no óleo ocorre de três formas: livre, emulsionada e dissolvida. A forma livre ocorre quando a concentração de água é alta o suficiente para deslocar o equilíbrio da solução fazendo com que a água se separe do óleo por decantação gravitacional. Esta é a forma mais prejudicial de contaminação. Na forma emulsionada a água presente no óleo também está na forma livre, mas não em concentração suficiente para promover a separação natural, nesse caso, água e óleo formam uma solução onde a água fica em suspensão coloidal no óleo. A água emulsionada se comporta como água dissolvida mas apresenta características da água livre e modifica a viscosidade aparente do lubrificante. A água dissolvida é a água em solução e sua presença não prejudica o óleo ou o mancal⁽¹³⁾.

A contaminação do óleo por água poderá reduzir a vida útil do rolamento conforme demonstrado na Figura 3. É possível perceber que, quando o óleo começar a apresentar turbidez, com 0,1% de água, a vida útil do rolamento já poderá estar sendo reduzida em cerca de 75% do esperado.

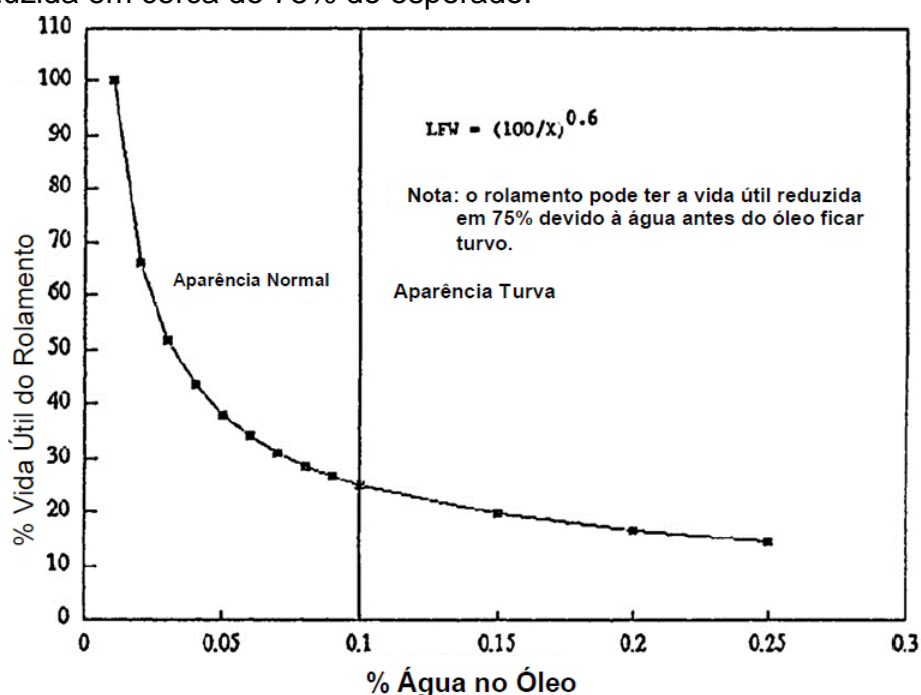


Figura 3: Efeito da água no óleo na vida de um rolamento⁽¹³⁾.

A determinação do teor água dissolvida no óleo é feita de modo bastante satisfatório com o analisador automático Karl Fisher. A inspeção visual também é utilizada, entretanto, quando houver percepção visual a vida útil já poderá estar bastante comprometida. [13]

A frequência de rodízio semanal tem como objetivo reduzir o tempo que a bomba fica parada, período favorável à entrada de umidade, além de promover a evaporação da água residual do óleo, uma vez que o lubrificante aquece durante a operação. Segundo os relatos da equipe de manutenção, a rotina semanal de troca de bombas foi implementada de forma paliativa, devido à dificuldade de efetuar a selagem das caixas de mancais, já que não existia um selo de caixa, de boa durabilidade, que evitasse o vazamento de óleo e a entrada de ar. Há cinquenta anos atrás, as vedações disponíveis eram os retentores, que vedam 100% no início, mas, apresentavam uma vida útil relativamente baixa.

Os selos de mancal surgiram recentemente, sendo os primeiros limitados a velocidades periféricas baixas e pouco confiáveis (possibilidade de perder todo o conteúdo de lubrificação em caso de falha). Neste cenário, a vedação por labirintos mostrou-se a solução mais adequada, apesar das limitações quanto à contaminação do óleo lubrificante. Atualmente, existe um modelo de selo de mancal confiável, que veda totalmente, não causa o vazamento do lubrificante em caso de falha e com durabilidade aceitável (não limita a vida útil do equipamento onde está instalado). Esta é a solução tecnológica aceitável pela equipe de manutenção e que, gradualmente, está substituindo os labirintos convencionais.

Nas bombas centrífugas o eixo, que é um componente dinâmico em movimento rotacional, entra na carcaça, que é um componente estacionário. É necessário fazer a vedação dessa interface eixo-carcaça para que não ocorra o vazamento do produto que está sendo bombeado. Esta vedação pode ser feita por gaxetas ou por selo mecânico. A selagem por gaxetas, devido a sua forma de operação, sempre apresenta vazamento, mesmo que mínimo para o meio externo (atmosfera) à bomba. Desta forma, as bombas que operam com produtos que possuem o poder de poder gerar incêndio, contaminação pessoal e ambiental, dentre outros problemas, é utilizado o selo mecânico para vedação⁽²⁾.

Os selos mecânicos têm como princípio de funcionamento a vedação feita pelo contato de duas faces extremamente polidas, planas e paralelas. Elas são montadas em um plano transversal ao eixo sendo que uma das faces é solidária ao eixo e outra é fixada na carcaça. Estas faces são mantidas em contato contínuo ocorrendo o contato direto entre duas superfícies sendo necessária a existência de algum tipo de lubrificação que faça o resfriamento desses materiais que estão em contato. O fluido que faz a lubrificação e lavagem das faces dos selos é chamado de fluido de lavagem, no entanto o termo mais usual é em inglês, *flushing*. Existem diversos modelos e configurações de selagem possíveis. Existem os selos simples e selos duplos, estes podem ter a montagem em série ou costa a costa⁽²⁾.

De acordo com os relatos da equipe de manutenção da empresa, os selos mecânicos são um dos componentes mais sensíveis das bombas centrífugas pois, para que eles funcionem corretamente, o eixo da bomba deve estar devidamente alinhado para que as faces mantenham o contato que garanta a vedação. Um dos modos de falha em rolamentos pode causar o afastamento dessas faces, ou seja, a abertura do selo mecânico. Os mancais de rolamento são os responsáveis por manter esse alinhamento e a falha no rolamento que suporta a carga axial pode levar ao deslocamento do conjunto rotativo e em consequência a abertura do selo mecânico, causando vazamentos de volumes consideráveis. A contaminação do óleo lubrificante com água na forma livre pode causar essa falha no rolamento e suas consequências, conforme o histórico de falhas da empresa.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo de contaminação foi realizado com as bombas de uma unidade operacional de uma indústria, por amostragem. A unidade é separada em duas áreas principais aqui denominadas área A e área B. Estas áreas possuem algumas características distintas em seu ambiente, bem como diferenças nos produtos bombeados.

Escolha das Bombas: A análise de umidade foi feita por amostragem de bombas utilizando os seguintes critérios para a escolha dos equipamentos estudados:

1. **Abranger as duas áreas:** A área A possui particularidades em relação à área B, como por exemplo, maior quantidade de vapor no ambiente, proveniente das turbinas e dos esgotos.
2. **Abranger a maior área:** a maioria das bombas está localizada no corredor de bombas. Assim sendo foram escolhidos os equipamentos que contemplassem toda a extensão do corredor, e mais dois equipamentos localizados fora deste corredor.
3. **Criticidade do produto bombeado:** o produto foi considerado devido aos riscos associados como incêndio, contaminação ambiental e contaminação pessoal.
4. **Necessidade Operacional:** alguns equipamentos apresentam características que são necessárias ou preferenciais para a operação da planta.
5. **Tipo de acionamento:** as bombas desta empresa são acionadas por turbina a vapor ou por motor elétrico. As turbinas, quando paradas, vazam mais vapor do que quando estão operando, podendo facilitar a contaminação da caixa de mancal das bombas.
6. **Tipo de bomba:** a maior parte das bombas possui o impelidor em balanço, com uma caixa de mancal que contém os dois mancais (LA e LOA). Existem, entretanto, dois conjuntos de bombas biapoiadas que possuem duas caixas de mancais. Como estas caixas são menores, proporcionalmente pode acumular mais água. Por isso, as conclusões para bombas com impelidor em balanço podem não ser as mesmas para biapoiadas.
7. **Teste de automatismo:** existem bombas que são muito críticas para a continuidade operacional, pois a perda da função pode causar parada imediata da unidade ou danos à equipamentos. Os sistemas aos quais estas bombas pertencem possuem uma proteção, denominado automatismo. As bombas que estão na reserva podem ser ligadas automaticamente pela atuação de um pressostato, situado em algum ponto do sistema, que atuam caso a pressão fique abaixo de determinado valor. Devido à alta criticidade, a atuação do automatismo é testada com a mesma frequência do rodízio e também é desejado estender.

Ensaio das Bombas: Foi reservado um tambor de óleo exclusivo para esse teste. O ensaio foi dividido em três etapas. Na etapa 1, a bomba ficou na reserva por uma semana, na etapa 2 por duas semanas e na etapa 3 por três semanas. A cada início de etapa, foi efetuada uma amostra do tambor para ser usado como referência de comparação. As amostras foram armazenadas em garrafas de 1 litro com vedação.

Análise do Óleo: A análise do óleo foi executada de forma qualitativa por inspeção visual e de forma quantitativa no equipamento Karl Fisher 756 KF Coulometer pelo laboratório de análises da empresa. O Karl Fisher 756 KF é um equipamento com capacidade de detectar a presença de baixas concentrações de água no óleo. Ele é equipado com uma impressora embutida, além de interfaces que permitem comunicação com uma balança, impressora externa ou computador.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Escolha das Bombas: Conforme os critérios estabelecidos na metodologia, as bombas escolhidas foram:

Área A

B-A1 (T): produto crítico, opera com temperatura por volta de 360°C. Seu acionamento é feito por turbina.

B-A2: operacionalmente é uma bomba crítica visto que é a bomba de carga da unidade. Devido à sua localização, no corredor de bombas, fica bastante aos vapores emanados de esgotos e turbinas próximas.

B-A3(T): possui teste de automatismo, é acionada por turbina e está situada fora do corredor de bombas. É uma bomba de condensado (água). O produto não apresenta risco, mas a abertura do selo pode causar parada da unidade pois, o sistema a que essa bomba pertence, opera com pressão negativa (vácuo) para uma turbina de condensação total. A entrada de ar no sistema pode causar perda de eficiência e, até mesmo, parada da turbina.

B-A4: possui teste de automatismo e está situada fora do corredor de bombas. O produto bombeado é óleo lubrificante para os mancais de um turbocompressor de grande porte. É crítica, uma vez que sua indisponibilidade causa parada imediata do compressor e, em consequência, da unidade.

B-A5: o produto é crítico, além de a bomba ser com o eixo biapoiado.

Área B

B-B1: são muito críticas quanto ao produto, pois em caso de abertura do selo, o vazamento deste gera um cenário de emergência bastante grave.

B-B2: o produto é crítico. É a última bomba da unidade, garantindo, assim que a amostragem abranja todo o corredor de bombas. Além disto, ela pode apresentar, no futuro, um bom parâmetro de comparação entre selagens de caixas de mancais, já que a outra B-B2, em sua última intervenção, teve a vedação substituída alterando de labirintos para selos do tipo herméticos.

B-B3: o produto é crítico além da bomba ser com o eixo biapoiado.

A seleção das bombas seguiu os critérios estabelecidos. No entanto, o estudo foi iniciado com as bombas com o impelidor em balanço, sendo que o critério de tipo de construção da bomba, em balanço ou biapoiadas, foi considerado posteriormente. A Tabela 1 apresenta um resumo do atendimento dos critérios de seleção dos equipamentos.

Tabela 1: Escolha dos Equipamentos

	Acionamento Turbina	Produto Crítico	Automatismo	Critério Operacional	Biapoiadas	Localização
B-A1(T)	X	X				
B-A2		X		X		X
B-A3(T)	X		X			X
B-A4			X			X
B-A5		X			X	
B-B1		X				
B-B2		X				X
B-B3		X			X	

Ensaio das Bombas: Reservou-se um tambor de óleo exclusivo para a finalidade deste estudo. A cada troca de óleo, foi coletada uma amostra do tambor para comparação.

- **Etapa 1:** A bomba teve o óleo substituído e ficou na reserva por uma semana. Ao final desta semana, o óleo foi amostrado em um recipiente de 1 litro vedado e identificado. Em seguida, todo o óleo foi substituído dando início a etapa 2.
- **Etapa 2:** Com o óleo totalmente substituído, a bomba ficou na reserva por duas

semanas. Ao final deste período, o óleo foi amostrado em um recipiente de 1 litro vedado e identificado e, em seguida, todo o óleo foi substituído dando início a etapa 3.

- **Etapa 3:** Com o óleo totalmente substituído, a bomba ficou na reserva por três semanas. Ao final deste período, o óleo foi amostrado em um recipiente de 1 litro vedado identificado. O nível da caixa foi repostado e a bomba ficou disponível para operação.

As bombas foram ensaiadas conforme os cronogramas apresentados nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2: Cronograma do Ciclo 1 de Ensaio

Etapa	Data Início	Data Fim
Etapa 1	29/03/2017	05/04/2017
Etapa 2	05/04/2017	19/04/2017
Etapa 3	19/04/2017	10/05/2017

As bombas biapoiadas, B-A5 e B-B3, não participaram do primeiro ciclo de amostragem, então elas tiveram calendário próprio:

Tabela 3: Cronograma Ciclo 2 de Ensaio para as Bombas Biapoiadas

Etapa	Data Início	Data Fim
Etapa 1	23/05/2017	30/05/2017
Etapa 2	30/05/2017	13/06/2017
Etapa 3	13/06/2017	04/07/2017

Durante a execução de cada etapa, algumas bombas precisaram operar por necessidade da produção. Neste caso, o procedimento foi refeito a partir do início da etapa de onde ele parou. A B-B3 foi utilizada durante a terceira etapa do teste e teve esta etapa repetida finalizando em 24/07/17. Já as A B-A5 e B-B3 precisaram entrar em operação durante a terceira etapa e não tiveram mais possibilidade de continuar no teste, devido à manutenção de longa duração nos equipamentos “B” (que deveriam estar em operação). Outro fato importante, é que várias amostras não puderam ser acondicionadas na garrafa com vedação, pois ocorreu uma demora na análise do óleo pelo laboratório devido à falta de reagente específico para o ensaio no Karl Fisher.

Análise do Óleo: Os ensaios realizados no laboratório de análise, equipamento Karl Fisher, obtiveram os resultados conforme apresentado na Figura 13 e na Figura 14. O valor de referência, em partes por milhão (ppm), considerado aceitável no teste foi 100 ppm pois, conforme Geinter e Bloch⁽¹³⁾, até este valor a vida útil do rolamento está estimada em 100% do valor calculado. Os resultados obtidos foram separados em dois gráficos distintos pois as bombas do Ciclo 1 (Figura 4) tiveram um comportamento diferente das do Ciclo 2 (Figura 5).

No Ciclo 1, foram ensaiadas as bombas com rotor em balanço que possuem apenas uma caixa de mancal. A amostra do tambor mostra que o óleo utilizado nas bombas já apresenta um teor de água por volta de 45 ppm. Em cada etapa do teste, é possível perceber que a maior parte das bombas apresenta aumento na quantidade de água no óleo. As bombas acionadas por turbina, B-A1(T) e B-A3(T), apresentam uma maior quantidade de água em todas as etapas, quando comparadas com as demais que são acionadas por motor (na etapa 3 elas se destacam). É notável também que, as bombas no corredor de bombas da Área A (A1, A2, A3) apresentam

maior contaminação que as da Área B, uma vez que a área A possui mais vapores de água no ambiente. Mesmo assim, nenhuma destas bombas atingiu o limite mínimo de contaminação de 100 ppm.

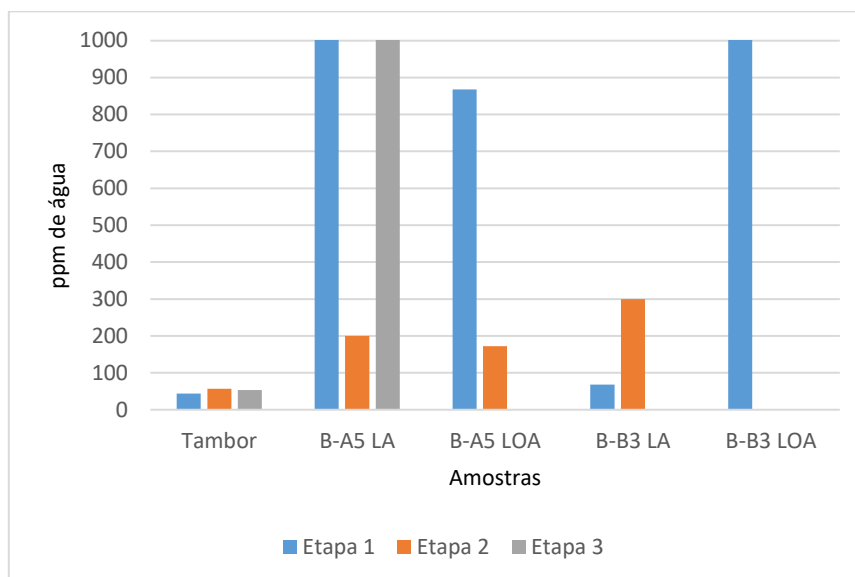


Figura 4: Índice ppm de Água no Óleo Ciclo 1.

Com base nos dados obtidos no Ciclo 2, verifica-se que as bombas biapoiadas não seguiram um padrão de contaminação, sendo que a maior parte delas ultrapassou o limite de 100 ppm, bem como o de 200 ppm que, segundo Geinter e Bloch⁽¹³⁾, reduz a vida útil em 34%. Além disto, pelo menos duas amostras, a B-A5 (LA – etapa 1) e a B-B3 (LOA – etapa 3), apresentaram contaminação muito elevada demonstrada na presença de água livre no óleo, sendo esta situação a mais perigosa para o rolamento. Nesta situação, poderia ocorrer a falha catastrófica do rolamento e a consequente abertura abrupta do selo. Nestes equipamentos esta falha agravaria um cenário de emergência com vazamento de produto pois, como são biapoiadas, apresentam dois selos mecânicos com alto potencial de vazamento.

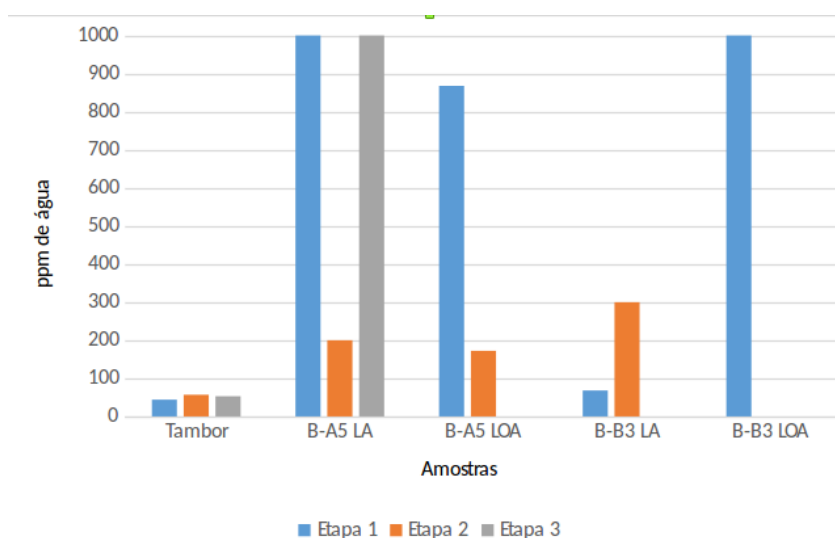


Figura 5: Índice ppm de Água no Óleo Ciclo 2 - Biapoiadas

Numa primeira avaliação, acreditou-se que as amostras haviam sido contaminadas com água no período de armazenamento, pois existiam garrafas sem vedação (comuns), enquanto aguardavam a disponibilidade do laboratório analisá-las. Porém, ao fazer a inspeção visual destas amostras, verificou-se que a contaminação estava presente tanto nas amostras das garrafas vedadas quanto das garrafas comuns. Uma das amostras que apresentou 53 ppm, a B-B3 (LA – etapa 3), estava acondicionada na garrafa comum. Desta forma, a contaminação durante o período de armazenagem foi descartada. A Figura 6 também mostra que, visivelmente, a maior parte das amostras apresenta turbidez. Conforme Geinter e Bloch⁽¹³⁾, quando uma amostra de óleo apresenta turbidez, indica que a concentração de água ultrapassou 100 ppm, valor máximo aceitável nesse estudo, sendo assim foi desnecessária uma reanálise do óleo pelo laboratório.

Outra observação importante é que, cada mancal da mesma bomba apresentou uma contaminação muito divergente na mesma etapa do teste. A B-B3 (etapa 3), conforme observado na Figura 7, apresentou no mancal LA apenas 53 ppm de água, enquanto que o mancal LOA apresentou 21.180 ppm, demonstrando que as bombas biapoiadas apresentaram um comportamento não esperado com essa diferença elevada de contaminação por mancal.

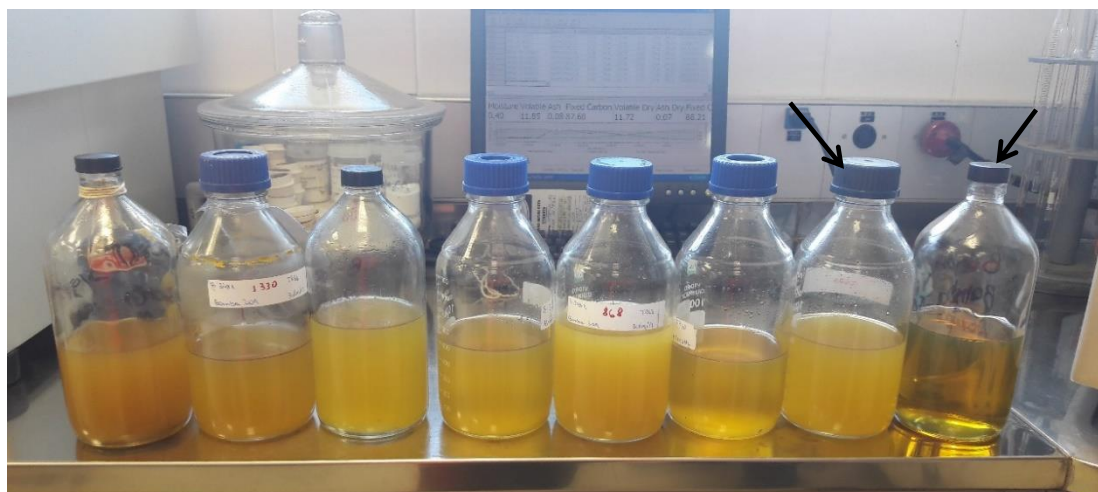


Figura 6: Amostras Ciclo 2 - Biapoiadas



Figura 7: Bomba B-B3 Etapa 3 – Diferença de contaminação entre mancal LA e LOA

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que é possível estender o rodízio das bombas com o impelidor em balanço, sem comprometer a segurança operacional e

sem reduzir significativamente a vida útil do rolamento. As opções de rodízio são:

- 1x1: atualmente praticada, cada bomba opera por uma semana alternadamente
- 2x2: cada bomba opera por duas semanas
- 3x1: uma bomba é escolhida como a bomba base (ou titular) e opera por três semanas enquanto a outra fica na reserva. Numa determinada semana, as bombas são trocadas, condição que permanece apenas pelo período de uma semana. Desse modo, uma bomba vai operar por mais tempo que a outra, evitando que as duas cheguem juntas ao fim da vida útil.

Como o estudo demonstrou, num período de até três semanas, para as bombas que não alcançaram 100 ppm de contaminação de água no óleo, poderá ser recomendada a prática da rotina 3x1. No entanto, no que se refere a prevenir falha de rolamento, a atual prática de rodízio (1x1) tem se mostrado eficaz em manter a disponibilidade dos equipamentos. Assim sendo, a implementação da nova rotina (3x1) será feita com acompanhamento da manutenção preditiva visando garantir que a disponibilidade será mantida.

Ainda que este estudo tenha sido realizado para atender uma solicitação da operação, a engenharia de manutenção tem como objetivo principal efetuar a substituição dos labirintos convencionais pelo selo de caixa de mancal, promovendo a vedação total destas caixas. Sendo assim, a segunda recomendação é de que, sempre que a bomba saia para manutenção, os labirintos sejam substituídos pelo selo. A vedação completa é feita fechando o respiro da caixa para atmosfera e fazendo a equalização com o copo de óleo. No entanto, esta adaptação pode ser feita no local onde a bomba está instalada, ao contrário do selo, que só poderá ser instalado na ocasião de remoção da bomba para a oficina. Dessa forma, o setor de manutenção mecânica deverá garantir que todas as bombas só possam ser instaladas na área com o selo.

As bombas biapoiadas apresentaram uma contaminação muito elevada com quantidades de água que não garantem a segurança operacional. Deste modo, estas bombas só poderão ter o rodízio estendido após a vedação das caixas. Para isto, já que elas são em menor quantidade, terão prioridade de instalação da vedação perante outros equipamentos.

Do ponto de vista da sustentabilidade, ampliar o período de rodízio diminui o número de partidas de equipamentos, o que pode resultar em economia de energia elétrica. Outra expectativa é diminuir o consumo de componentes, gerando menos resíduos, pois, a partida e parada do equipamento é uma situação que exige mais dos componentes, dado que, as tensões, torques e forças à que eles são submetidos, são maiores do que em regime contínuo de produção. Outro benefício do rodízio 3x1 é o desgaste não uniforme dos componentes, levando os equipamentos ao fim da vida útil em momentos distintos. Aumentar o período de rodízio também promoverá redução na carga de trabalho das equipes envolvidas.

4 CONCLUSÃO

As bombas centrífugas são equipamentos essenciais para o funcionamento de determinadas indústrias. Garantir a sua disponibilidade de operação é uma tarefa conjunta que o setor de produção e de manutenção realizam por meio da aplicação de boas práticas. O rodízio de operação de bombas é uma destas boas práticas, cuja finalidade é verificar a situação do equipamento (identificação de falha oculta) por análise de vibração, inspeção visual, dentre outros métodos. Nas bombas centrífugas, com a lubrificação dos mancais por banho de óleo e selagem da caixa feita por

labirintos, o rodízio atua como medida paliativa para um problema que até pouco tempo não possuía solução tecnológica satisfatória. A vedação das caixas de mancal lubrificadas por banho de óleo não era confiável com os produtos disponíveis no mercado. Assim sendo optou-se, durante longo período, por manter a selagem por labirintos, que são eficientes para evitar o vazamento de óleo, mas apresentam uma possibilidade de contaminação do óleo com água quando estão na reserva.

Estender o período do rodízio é de interesse do setor de produção e também da manutenção. No entanto, embora exista um modelo de selo para caixa de mancais com desempenho bastante satisfatório, a substituição destas vedações ocorre por ocasião, quando a bomba vai para a manutenção, o que demanda um período de vários anos para que seja possível realizar em todas as bombas. Desta forma, decidiu-se fazer o presente estudo para avaliar o real nível de contaminação do óleo com água quando as bombas estão na reserva.

O estudo foi realizado por amostragem. As bombas foram escolhidas conforme critérios operacionais, ambientais, risco quanto ao produto, tipo de acionamento, dentre outros. O estudo foi realizado em dois ciclos. O ciclo 1 para as bombas com rotor em balanço, que possuem apenas uma caixa de mancal, e o ciclo 2 para as bombas biapioadas, que possuem duas caixas de mancal. Algumas bombas, devido a condições operacionais, não concluíram as três etapas do teste. Os resultados encontrados para cada grupo de bombas foram diferentes.

As bombas do ciclo 1 apresentaram baixo nível de contaminação, não alcançando 100 ppm de água no óleo, o que garante a operação com segurança, além de não impactar na vida útil do rolamento. As bombas do ciclo 2 apresentaram um elevado nível de contaminação. Em algumas amostras ocorreu a presença de água livre, a situação de maior risco.

A partir dos resultados encontrados concluiu-se que, para as bombas do ciclo 1 é possível estender o rodízio para o período máximo praticado (3x1). Já as bombas biapioadas, só poderão ter o período de rodízio alterado após aplicação da vedação da caixa de mancais. Ainda assim, para os dois conjuntos de bombas, será preciso manter o acompanhamento da manutenção, uma vez que, como uma rotina comprovadamente eficaz estará sendo substituída, é necessário que seja feita uma fase de testes. Outra recomendação é que seja implementada uma sistemática na manutenção que garanta a substituição dos labirintos pelo selo de caixa de mancal, pois mesmo que esse estudo tenha demonstrado que o nível de contaminação é baixo, ele continua existindo, e, para a lubrificação em banho de óleo, o selo é a solução tecnológica mais apropriada para garantir a vida útil do rolamento, segurança operacional e a maior disponibilidade do equipamento.

REFERÊNCIAS

- 1 MACINTYRE, A.J. Bombas e instalações de bombeamento. Rio de Janeiro, 2ª Edição revista, LTC, 2014
- 2 MATTOS, E. E.; FALCO, R. Bombas Industriais. Rio de Janeiro, Interciência, 1998
- 3 ALKINDI, Muhammed Iqbal. Centrifugal Pump. [on line] 2015. Disponível em: <<http://www.alkindiary.com>> Acesso em: 7 jun. 2017
- 4 KARASSIK, I. J. *et al.* Pump Handbook Second Edition, USA, 1986.
- 5 SKF, Bearings in Centrifugal Pumps – Application Handbook. USA, Version 8, 2012

- 6 PENNACCHI, P. Chapter 15: Introduction of advanced technologies for steam turbine bearings. *Advances in Steam Turbines for Modern Power Plants*, p 321-380, Elsevier, 2017
- 7 BUDYNAS, R.G; NISBETT, J.K.. *Elementos de Máquinas de Shigley – Projeto de Engenharia Mecânica*. USA, Bookman, 8ª Edição, 2008
- 8 BLOCH, H.P. *Petrochemical Machinery Insights*. Elsevier, 2017
- 9 NSK, Rolamentos. Catálogo, 2013
- 10 NOBREGA, P. R. L. Aumento da TMEF em mancais de bombas centrífugas. 9º Fórum de Turbomáquinas, 27 a 30 de agosto de 2013, Rio de Janeiro
- 11 MC NALLY, W. Troubleshooting the ball bearings in a centrifugal pump. *World Pumps*, p 28-29, Elsevier, 2006
- 12 RODDIS, A. Reducing moisture contamination in bearing lubrication. *Sealing Technology*, p 6-9, Elsevier, 2006
- 13 GEITNER, F.K.; BLOCH, H. P. *Machinery Failure Analysis and Troubleshooting*. 4ª Edition, Elsevier, 2012
- 14 THOMAS, R. Constant Level Oilers: Best Practices For Optimal Lubrication. *Efficient Plant*. [on line] 2007. Disponível em <<https://www.efficientplantmag.com>>. Acesso em: 30 out. 2017

ANÁLISE DO NOVO SISTEMA DE COBRANÇA DA ÁGUA NA CIDADE DE PELOTAS

Horvath, A. R.¹
Santos, M. K.²
Ceconello, S. T.³

- ¹ *Graduanda em Tecnologia de Gestão Ambiental, Alana Ramos Horvath, Instituto Federal de educação, ciência e Tecnologia Sul-Rio-Grandense Campus Pelotas, e-mail: alana.rhorvath@gmail.com;*
- ² *Doutora em Engenharia Química, Marise Keller dos Santos, Instituto Federal de educação, ciência e Tecnologia Sul-Rio-Grandense Campus Pelotas, e-mail: marise.keller@gmail.com;*
- ³ *Mestra em Desenvolvimento Territorial e Sistema Agroindustriais, Samanta Tolentino Ceconello, IFSul Câmpus Pelotas, e-mail: satolentino@pelotas.ifsul.edu.br*

Resumo

Este artigo apresenta os resultados de uma atividade acadêmica aplicada a vinte alunos dos cursos de Tecnologia em Saneamento e Gestão Ambiental, do IFSUL, Campus Pelotas, no ano de 2018. O método empregado foi baseado no "learning by doing", consistindo na avaliação realizada pelos alunos, de suas contas de cobrança de água. Os resultados são apresentados discutindo dados de sete residências, caracterizadas como a amostra de estudo, sendo quatro casas e três apartamentos localizados em condomínios. Os resultados são discutidos em sala de aula através da comparação dos indicadores de consumo por morador de cada residência. Foram evidenciadas as relações entre os valores das contas e os tipos de cobrança de acordo com o enquadramento das residências. A identificação dos indicadores de consumo foi possível devido à alteração tecnológica, desde o início de 2016, do sistema de cobrança da água, sendo este atualmente realizado por consumo e não mais por tarifação, resultado da implementação das ações previstas na Lei municipal nº 6294, sancionada no final de 2015. Mediante a análise dos indicadores, foi possível observar a importância da conscientização ambiental ser realizada pelo indivíduo no seu próprio ambiente no uso d'água. Como benefícios foram identificadas novas oportunidades para o uso mais racional deste recurso e suas vantagens econômicas, ambientais e sociais associadas.

Palavras-chave: Learning by doing, Indicadores de consumo, Cobrança de água.

ANALYSIS OF THE NEW WATER COLLECTION SYSTEM IN PELOTAS CITY

Abstract

This article presents the results of an academic activity applied to twenty students of the course Technologist in Sanitation and Environmental Management, from IFSUL, Campus Pelotas, in the year 2018. The method used was based on "learning by doing", consisting of the students from their water billing bills. The results are presented discussing data from seven residences, characterized as the study sample, four houses and three apartments located in condominiums. The results are discussed in the classroom by comparing consumption indicators per resident of

each household. The relationships between the values of the accounts and the types of collection according to the framework of the residences were evidenced. The identification of consumption indicators was possible due to the technological change since the beginning of 2016 of the water collection system, which is currently carried out by consumption and no longer by charging, as a result of the implementation of the actions set forth in Law nº 6294, sanctioned at the end of 2015. Through the analysis of the indicators, it was possible to observe the importance of environmental awareness in the use of water to be performed by the individual in his own environment, in this case the residence. As benefits were identified the new opportunities for more rational use of water and its associated economic, environmental and economic advantages.

Key words: Learning by doing , Indicators of consumption, Water collection.

1 INTRODUÇÃO

A fim de gerenciar adequadamente seus recursos hídricos, em 8 de janeiro de 1997, foi sancionada a Lei nº 9.433, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). Em 2000 o Brasil cria através da Lei nº 9.984, a Agência Nacional de Águas (ANA), uma agência reguladora vinculada ao Ministério do Meio Ambiente (MMA), a qual tem a responsabilidade de fazer cumprir os objetivos e diretrizes da Lei nº 9.433/97. Suas linhas de ação são: regulamentação, monitoramento, aplicação da legislação e planejamento.

Existe uma diferença entre a cobrança de contas de água e a cobrança pelo uso dos recursos hídricos, esta última é uma taxa que se destina a projetos de conservação e melhoria das condições na bacia hidrográfica. A cobrança das contas de água refere-se à cobrança pelos serviços de coleta tratamento e distribuição de água e de esgotos. Na cidade de Pelotas a cobrança da água é realizada pela Lei municipal nº 6.404, de 26 de dezembro de 2016, através do SANEP (Serviço Autônomo de Saneamento de Pelotas). Pelo sistema de cobrança da água e do esgoto a partir da medição em hidrômetro. O valor pago pelo esgoto, agora, é uma porcentagem do valor da água consumida e não mais idêntico como no sistema anterior por taxa.

Segundo Fellipi (2017), a natureza tarifária da cobrança de serviço de água e esgoto foi estabelecida na constituição federal de 1988 e esta previa duas formas de remuneração do serviço a partir da descentralização: a taxa e a tarifa ou preço público. Este novo sistema de cobrança tem o objetivo de promover um consumo consciente em que os moradores paguem pela quantidade de água que consomem e não mais uma tarifa única baseada na área do imóvel.

As análises mais detalhadas, identificando consumos individuais por equipamentos residenciais, para o monitoramento interno de águas em residências, foram estudadas por poucos autores, segundo Barreto.

A Lei municipal 6.294/15, o valor do metro cúbico da água varia em sete categorias: residencial; residencial social; filantrópico; comercial ou de serviço;

industrial; pública; legislativo ou judiciário, de qualquer esfera federativa; templos religiosos e casas de religião, estabelecendo as características para enquadramento para cada categoria.

Com o objetivo de esclarecer os mecanismos da nova cobrança de água e conscientizar os alunos para consolidar os objetivos previstos na Lei das Águas, em especial a minimização do consumo de água, este trabalho apresenta os resultados do estudo realizado como uma atividade acadêmica, da disciplina do primeiro semestre, Poluição e Saneamento, nos cursos de Tecnologia em Gestão Ambiental no Campus Pelotas.

Neste contexto este trabalho propõe a apresentação de uma atividade prática, realizada em sala de aula, para ampliar a conscientização dos alunos, nas implicações decorrentes da alteração tecnológica da mudança do sistema de cobrança da água realizada pelo SANEP, e as alternativas inovadoras sugeridas pelos alunos para uso racional da água em suas residências. As atividades desenvolvidas incentivam o aluno no conhecimento da elaboração e interpretação de seus indicadores de consumo de água residencial, utilizando os mesmos na busca de oportunidades de minimização do consumo de água, conscientizando o mesmo através de seus benefícios econômicos e ambientais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foi desenvolvida uma atividade acadêmica, planejada e implementada em um conjunto de 20 alunos da disciplina de Poluição e Saneamento do curso de Tecnologia em Gestão e Saneamento Ambiental do Instituto Federal Sul – riograndense (IFSUL) do Campus Pelotas, empregando as 6 últimas contas de cobrança de água enviadas pela autarquia local, SANEP.

As atividades acadêmicas deste trabalho foram desenvolvidas em seis etapas, durante um período de 2 meses, e são: i) Revisão bibliográfica sobre o tema indicadores de consumo da água residencial; ii) Desenvolvimento e padronização do instrumento de coleta de dados sobre o consumo de água residencial; iii) Coleta pelos alunos dos dados sobre o consumo residencial de água; iv) Identificação e análise dos indicadores de consumo de água residencial de forma individualizada; v) Comparação dos indicadores obtidos e; vi) Discussão e conclusões sobre os resultados com o conjunto de alunos.

Inicialmente foram identificadas as informações técnicas sobre indicadores de consumo de água residencial e também as informações legais sobre a cobrança do consumo de água residencial.

Na segunda foram identificadas as informações necessárias para a elaboração dos indicadores de consumo de cada residência. Entre as principais informações necessárias estão: dados de consumo das seis últimas contas de cobrança da água; forma de cobrança; número de moradores; hábitos dos moradores; área da residência; identificação de situações que façam variar o consumo no período analisado, etc. Estas informações foram sistematizadas e padronizadas em uma planilha eletrônica, como o instrumento de coleta de dados. Desta forma, pretende-

se facilitar a uniformização dos dados coletados e a tabulação e análise dos dados para a obtenção dos indicadores de consumo de água residencial de cada aluno, e posteriormente, a comparação com os indicadores dos demais alunos.

As seis últimas contas de cobrança de água de cada residência foram identificadas pelos alunos na terceira etapa, analisadas e seus dados transpostos para a planilha eletrônica, gerando, desta forma os indicadores de consumo de água das residências analisadas.

Na quarta etapa os alunos analisam seu indicador e o relacionam as características de sua residência e hábitos de consumo.

A comparação entre os indicadores ocorre na quinta etapa onde os alunos em grupos comparam seus consumos, considerando residências com o mesmo número de moradores, e os hábitos de consumo dos mesmos. Esta comparação permite a análise de causas de consumos excessivos. Identificam também nesta etapa as causas destes consumos excessivos em cada residência buscando oportunidades de reduzir o consumo excessivo.

Na última etapa são apresentados a todos os alunos os resultados analisados e discutidas em conjunto as oportunidades de diminuição de consumo de água residencial.

Ao final cada aluno elabora seu relatório sobre o consumo de água em sua residência, reunindo todas as informações relativas a cada atividade desenvolvida. A participação nas discussões e a entrega deste relatório constituíram-se na avaliação de seu desempenho relacionado a este conteúdo na disciplina.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados são apresentados discutindo dados de sete residências, apresentadas no Quadro 1, caracterizadas como a amostra de estudo, sendo quatro casas e três apartamentos localizados em condomínios. Neste Quadro é possível observar o reflexo econômico do enquadramento das residências por regiões na cidade de Pelotas.

A residência 2, com três moradores, tem uma conta cobrança média/mensal de R\$37,30, para um consumo médio de 5,6 m³/ morador, esta residência esta beneficiada pela artigo 3º da Lei Municipal 6.294/15, como residência social. Estes valores comparados a residência 1, que possui o mesmo número de moradores, porém, não possui este benefício, apresentando um consumo médio de 2,5 m³/ morador, um consumo 50% menor em relação ao consumo da residência 2. Este fato pode estar associado a um consumo não responsável da água relacionado a um baixo custo pago pela água.

A mesma situação é observada na cobrança por taxa em condomínios, onde se identifica que o condomínio 7 apresenta também um enquadramento social, sendo impossível identificar o consumo por morador. Neste condomínio os apartamentos possuem diferentes plantas, apresentando um numero variável de moradores. Comparando-se pelo numero de moradores com o condomínio 6, onde todos os

apartamentos tem a mesma área, a cobrança por taxa tem um valor 60% maior que o condomínio 7.

É possível observar que a residência 4 apresenta o menor consumo por morador, apesar de possuir 8 moradores, este fato ocorre em consequência aos hábitos de seus moradores que utilizam a residência somente como dormitório, consumindo água somente para higienização e sanitários.

Já nas residências 3 e 4, ambas com o mesmo número de moradores aproximado, este fato é referente a categoria IV - Categoria Industrial, da Lei nº 6294/15, vigente na residência de nº 3.

Mediante a análise dos indicadores, foi possível observar a importância de a conscientização ambiental ser realizada pelo indivíduo para o uso de recursos ambientais no seu próprio ambiente, neste caso a residência. Na realização desta atividade acadêmica o aluno identificou seus indicadores de consumo, o que foi possível através da alteração no sistema de cobrança da água que vem sendo implementada pelo SANEP desde 2016 na cidade de Pelotas. Este fato foi associado às fontes de consumo residencial, como por exemplo, torneiras, chuveiro, máquina de lavar, lavatório, entre outros, e a identificação de oportunidades do uso mais racional da água e também suas vantagens econômicas e ambientais.

Residência	Tipo de Residência	Nº de moradores	Média de consumo por morador (m³/mês)	Consumo Mensal médio atual (m³)	Média da cobrança mensal total de água + taxas (R\$)	Categoria	Área (m²)
1	Casa	3	2,5	7	45,80	I	55
2	Casa	3	5,6	17	37,30	II	63
3	Casa	9	3,6	32	266,70	IV	79
4	Casa	8	1,4	11	83,70	I	139
5	Condomínio	3			81,70		38
6	Condomínio	2			88,90		52
7	Condomínio	2			34,30		52

Quadro 1 – Principais dados da amostra analisada para o consumo de água residencial.

Como alternativas inovadoras para a gestão residencial da água, os alunos identificaram, na maioria, a manutenção de vazamento, diminuição do tempo de banho, lavagem e enxágue de utensílios domésticos na cozinha empregando menor quantidade de água. Para os alunos que residem em casa foi identificada alternativa extra, a coleta de água de chuva, para usos menos nobres deste recurso.

4 CONCLUSÃO

Foi possível observar a importância da conscientização ambiental ser realizada pelo indivíduo para o uso de recursos ambientais no seu próprio ambiente, neste caso a residência. Esta conscientização deve ser baseada em dados claros como indicadores de consumo, associados ao custo do consumo. Na realização desta

atividade acadêmica o aluno identificou seus indicadores de consumo, o que foi possível através da alteração no sistema de cobrança da água que vem sendo implementada pela SANEP desde 2016 na cidade de Pelotas.

Esta alteração também proporcionou a implementação de iniciativas novas, no contexto no uso racional da água em cada residência, considerando as limitações das mesmas.

Como principais barreiras identificadas neste estudo, encontram-se a dificuldade da mudança de hábitos de consumo, obtenção de dados do consumo individual da água em condomínios, entre outras. Observou-se que os benefícios decorrentes do enquadramento da Lei Municipal nº 6404/16, devem estar acompanhados de conscientização dos moradores das residências beneficiadas, para o uso mais responsável, principalmente para a água cobrada com valores mais baixos. Foi observado a importância de empregar os benefícios econômicos e ambientais na identificação e implementação de medidas no uso racional da água, como instrumento de conscientização. Este trabalho terá seguimento junto à turma, no qual o próximo passo é estabelecer os indicadores das principais fontes de uso da água em residências.

Agradecimentos

Às minhas orientadoras, aos colegas que participaram da pesquisa e ao Instituto Federal Sul-Rio-Grandense Campus Pelotas, o meu muito obrigado.

REFERÊNCIAS

- 1 BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm> Acesso em: 04 de mai. 2018.
- 2 SINGREH. **Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/sistema-nacional-de-gerenciamento-de-recursos-hidricos>> Acesso em: 03 de mai. 2018.
- 3 BRASIL. Planalto do governo. **Lei Nº 9.984, de 17 de Julho de 2000.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9984.htm> Acesso em: 07 de ago. 2018.
- 4 ANA. **Lei das Águas do Brasil.** Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/noticias/agua-passa-a-ser-contabilizada-no-sistema-de-contas-nacionais-do-brasil-1>> Acesso em 4 de mai. 2018.
- 5 MMA. **Objetivos e diretrizes da Lei das Águas do Brasil, a lei nº 9.433 de 1997.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/>> Acesso em: 04 de mai. 2018.

- 6 PELOTAS. **Lei nº 6404 de 26 de Dezembro de 2016.** Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br>> Acesso em: 11 de mai. 2018.
- 7 FELIPPI, A. **Tarifa mínima de água multiplicada em Pelotas/RS: entendimentos e questionamentos.** Revista Eletrônica da Faculdade de Direito da UFPel, Dossiê Consumo e Vulnerabilidade : a proteção jurídica dos consumidores no século XXI. Pelotas, vol. 03, nº. 1, jan./ jun. 2017.
- 8 BARRETO, D. **Perfil do consumo residencial e usos finais da água.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 8, nº. 2, pág. 23 – 40, abr./jun. 2008.
- 9 PELOTAS. **Lei nº 6294 de 02 de Dezembro de 2015.** Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br>> Acesso em: 09 de mai. 2018.
- 10 PELOTAS. **Lei nº 6395 de 01 de Dezembro de 2016.** Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br>> Acesso em: 09 de mai. 2018.

OTIMIZAÇÃO DE MASSA EM ESTRUTURAS TRELIÇADAS POR ALGORITMO FIREFLY

Camargo, P.M.¹
Souza, T. F.²

¹ Graduando, Pedro Moresco de Camargo, IFSul Sapucaia do Sul, pedro.moresco93@gmail.com.

² Doutor, Tomaz Fantin Souza, IFSul Sapucaia do Sul, tomazsouza@sapucaia.ifsul.edu.br.

Resumo

O presente trabalho apresenta a implementação do algoritmo meta-heurístico Firefly na otimização de massa em estruturas treliçadas. A otimização estrutural busca encontrar a configuração em que o peso total da estrutura otimizada, dadas as condições de carregamento, seja o menor possível, atendendo a requisitos funcionais e reduzindo a necessidade do uso de matérias primas, bem como expandindo a margem de lucro. O objetivo deste trabalho é implementar um algoritmo em Python utilizando o método Firefly, e aplica-lo na otimização de dois casos de treliças benchmark da literatura: a treliça plana de dez barras e a de dezoito barras, realizando a otimização paramétrica nos dois casos, e de forma no segundo caso. O primeiro caso apresenta restrições dos deslocamentos dos nós e o segundo das tensões de flambagem nas barras, e ambos possuem restrições quanto as tensões normais nas barras e áreas das seções transversais. Os resultados finais das massas das estruturas apresentados pelas otimizações realizadas se mostraram inferiores aos presentes na literatura em ambos os casos, e todas as soluções encontradas respeitaram as restrições de projeto, indicando que o algoritmo Firefly é tão ou mais eficiente que os outros métodos disponíveis para a otimização estrutural.

Palavras-chave: Otimização estrutural; Firefly; Treliças.

MASS OPTIMIZATION OF TRUSS STRUCTURES USING THE FIREFLY ALGORITHM

Abstract

This work presents an implementation of the metaheuristic algorithm Firefly in mass optimization of truss structures. The structural optimization looks to find a configuration where the total weight of the optimized structure, given the loadings conditions, be the minimum possible, attending to functional requirements and reducing the usage of raw materials, as well as expanding the profit margin. The goal of this paper is to implement a Python algorithm using the Firefly method, and apply it in two optimization benchmark cases of trusses from the literature: the ten bars plane truss and the eighteen bars, accomplishing sizing optimization in both cases, and shape in the second one. In the first case there are nodes displacements constraints and in the second one buckling tension in the bars and both have constraints related to the normal stress and transversal areas of the bars. The final results of the masses of the structures presented by the optimizations are lower than the ones found in the literature in both of the analyzed cases, and all the solutions found attend to the imposed constraints, showing that the Firefly algorithm so or more efficient than other methods available for structural optimization.

Key words: Structural optimization; Firefly; Trusses.

1 INTRODUÇÃO

A otimização é o processo que busca encontrar as melhores alternativas para se alcançar um objetivo, ou em termos matemáticos, maximizar ou minimizar uma função adotando um sistema de variáveis. Na área de projeto mecânico, a crescente busca por *designs* mais sustentáveis, tanto ambiental quanto economicamente, tem dado força ao desenvolvimento de técnicas de otimização, como dito em Kaveh, Azar e Talatahari⁽⁶⁾, buscando uma estrutura que seja tanto leve quanto segura e funcional, atendendo aos requisitos de segurança estabelecidos preservando a saúde de seus usuários e evitando a utilização desnecessária de recursos naturais escassos e expandindo as margens de lucro, atendendo assim ao três pilares de sustentabilidade apresentado por Ribeiro e Vargas⁽¹⁵⁾, sendo eles o pilar ambiental, o econômico e o social.

Problemas de otimização de massa em treliças geralmente envolvem um número grande de variáveis e restrições, acabando por se tornarem não lineares, possuindo então diversos pontos ótimos locais, conforme descrito em Gandomi, Yang e Alavi⁽³⁾. Para encontrar a solução para tais problemas, diversos autores vêm empregando algoritmos meta-heurísticos como uma alternativa para encontrar ótimos globais, com destaque para os algoritmos genético, em Holland e Henry⁽⁴⁾ e enxame de partículas, Kennedy e Eberhardt⁽⁹⁾. Mais recentemente foi desenvolvido o método Firefly (vaga-lume), na universidade de Cambridge em Yang⁽¹⁷⁾, inspirado pelo comportamento desses insetos em seu habitat na busca de pares para acasalamento e presas para alimentação por meio de sua bioluminescência, apresentando bons resultados em encontrar ótimos globais de funções complexas.

O presente trabalho tem o objetivo de desenvolver um algoritmo em linguagem Python, utilizando o método Firefly para a otimização de massa em treliças aplicando restrições de projeto, fazendo uma análise do desempenho do algoritmo comparado os resultados obtidos com casos benchmark da literatura.

O trabalho se divide da seguinte forma: no próximo tópico será apresentado a formulação do algoritmo Firefly, em seguida o conceito de funções de penalização é introduzido e fechando o embasamento teórico é descrito a estrutura geral do algoritmo utilizado. Posteriormente na seção de metodologia os casos benchmark são mostrados, e concluindo o trabalho são discutidos os resultados e formuladas as conclusões.

1.1 ALGORITMO FIREFLY

O algoritmo Firefly foi desenvolvido por Yang⁽¹⁷⁾, e é inspirado pelos padrões de flashes dos vagalumes na natureza, e é classificado como um algoritmo baseado em inteligência de enxame por Iztok et al⁽⁵⁾. Na natureza, a bioluminescência desses animais possui diversas funções, algumas ainda em discussão pelas autoridades da área, nesse trabalho somente as funcionalidades de atração entre pares será utilizada, assumindo regras que visam a simplificação, conforme segue:

- Todos os vaga-lumes são unissex, sendo assim, toda a população é mutuamente atraída;
- A atratividade é proporcional ao brilho, e o brilho decresce com a distância; o indivíduo menos brilhante se move em direção ao mais brilhante; se todos possuírem o mesmo brilho o movimento da população será randômico;

- O brilho de um vaga-lume é determinado ou afetado pelo panorama do problema a ser otimizado;
Utilizando-se das regras supracitadas o pseudocódigo pode ser descrito como na Figura 1.

Início

Função objetivo $f(x), x = (x_1, \dots, x_d)^T$

Gerar população inicial de vagalumes $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$

Intensidade de luz I_i em x_i é determinada por $f(x_i)$

Definir coeficientes de absorção de luz

Enquanto ($t < Máxima\ geração$)

Para $i = 1:n$ para todos os n vagalumes

Para $j = 1:n$ para todos os n vagalumes

Se ($I_i < I_j$) mover vagalume i em direção ao vagalume j ; **fim se**

Variar atratividade com distância r por $e^{-\gamma r}$

Calcular novas soluções e atualizar intensidade de luz

Fim para j

Fim para i

Ordenar vagalumes e encontrar melhor solução global

Fim enquanto

Resultados pós-processamento e visualização

Fim

Figura 1: Pseudocódigo do algoritmo Firefly traduzido livremente de Yang⁽¹⁶⁾.

Para formulação do algoritmo, devemos considerar que a atratividade é proporcional a intensidade da luz, $\beta \propto I$, e diminuirá conforme a distância r entre os vaga-lumes aumentar, sendo assim:

$$I = I_0 e^{-\gamma r^2} \quad (1)$$

Utilizando a forma Gaussiana para evitar as singularidades em $r=0$ e I_0 a luminosidade inicial e γ a absorvência do ambiente. Como dito anteriormente, a atratividade é proporcional a luminosidade dos corpos adjacentes, podemos definir β como:

$$\beta = \beta_0 e^{-\gamma r^2} \quad (2)$$

Aonde β_0 é a atratividade no ponto $r=0$. A distância cartesiana entre dois entes i e j , nos pontos x_i e x_j pode ser descrita como:

$$r_{ij} = \|x_i - x_j\| \quad (3)$$

Assim o movimento do indivíduo i para o mais brilhante j será equacionado como:

$$x_i = x_i + \beta_0 e^{\gamma r^2} (x_j - x_i) + \alpha \epsilon_i \quad (4)$$

O segundo termo se refere a atratividade e o terceiro é de randomização, designado de uma distribuição uniforme.

1.2 FUNÇÃO DE PENALIZAÇÃO

Problemas de otimização meta-heurísticos geralmente são rotinas irrestritas, e para que as restrições impostas sejam respeitadas a maneira mais comum de aplica-las é utilizando funções de penalidade, tornando problemas restritos em irrestritos alterando a forma como o valor da função objetivo é calculado proporcionalmente a violação das restrições.

As funções de penalização do tipo estático são aquelas cujo o valor da mesma não se altera com o passar das gerações, e são apresentadas geralmente na forma abaixo, como apresentado em Coello⁽¹⁾.

$$\varphi(x) = f(x) + \sum_{i=1}^m (R_{k,i} \times \max[0, g_i(x)]^h) \quad (5)$$

Na equação 5 R é o coeficiente de penalidade e m o número total de restrições, tanto de igualdade como desigualdade, k o número de violações definidas pelo usuário, aplicando diferentes fatores para cada uma das violações. Conforme Coello⁽¹⁾ o coeficiente h , de forma geral, assume valor de 1 ou 2.

Coello⁽¹⁾ diz que para que a função de penalização seja eficiente ela não deve ser demasiada grande, fazendo com que a região não seja totalmente explorada por criar uma tendência de levar as soluções para dentro da região viável e não retornando para próximo à fronteira. Por outro lado, se a penalidade for muito pequena, boa parte do tempo de processamento será gasto na porção inviável do domínio, tornando assim a estimativa de um valor adequado crucial para o sucesso do processo de otimização.

Uma das formas de eliminar os fatores de penalização independentes para cada uma das violações é normalizá-los, assim a função de penalização do presente trabalho será conforme abaixo.

$$P(x) = R \times \sum_{k=1}^c \left(\frac{|\omega_k| - \omega_k^{\max}}{\omega_k^{\max}} \right)^+ \quad (6)$$

Sendo $(.)^+$ um indicador de que somente os valores positivos serão considerados, R uma constante, ω_k o valor da restrição para o indivíduo, ω_k^{\max} o valor máximo admissível para a restrição e c o número de restrições à serem calculadas.

Desta forma a função objetivo pode ser descrita da forma:

$$f(x) = \begin{cases} f(x), & \text{se } P(x) < 0 \\ f(x) + P(x), & \text{se } P(x) > 0 \end{cases} \quad (7)$$

1.3 ESTRUTURAÇÃO DO ALGORITMO

No presente trabalho a função objetivo a ser otimizada é o peso W , que varia de acordo com x que representa cada indivíduo da população de vaga-lumes considerada. O comprimento de cada barra é representado por l_j dentre as n barras dos sistemas, que é uma função das coordenadas nodais (ξ) de q nós na treliça. Utilizando a notação de um vetor $x = [A_1, \dots, A_n, \xi_1, \dots, \xi_n]$ agrupando as áreas das seções transversais de cada barra (A_j) e as coordenadas dos nós (ξ_j) podemos descrever o problema como na Figura 2.

Ache x

$$\text{Minimize } W(x) = \sum_{j=1}^n \rho l_j(\xi) A_j$$

Aonde as restrições são $G_1 = |\sigma_j(x)| - \sigma_j^f \leq 0$, ou

$$\text{Compressão: } |\sigma_j(x)| - \sigma_j^c \leq 0, j = 1, \dots, n$$

$$G_2 = \delta_k(x) - \delta_k^{\text{máx}} \leq 0, k = 1, \dots, q$$

$$G_3 = A_j^{\text{mín}} \leq A_j \leq A_j^{\text{máx}}, j = 1, \dots, n$$

$$G_4 = \xi_i^{\text{mín}} \leq \xi_i \leq \xi_i^{\text{máx}}, i = 1, \dots, q$$

Figura 2: Estrutura do algoritmo, traduzido livremente de Lopez, Miguel e Miguel⁽¹⁴⁾.

Na Figura 2 temos G como as diversas restrições aplicadas ao problema, as quais devem ser cumpridas, e $\|\sigma_j(x)\|$ os valores absolutos assumidos pelas tensões aplicadas as barras da treliça com o problema. Os termos $A_j^{\text{mín}}$ e $A_j^{\text{máx}}$ representam os limites admissíveis para as áreas das barras, de forma análoga $\xi_i^{\text{mín}}$ e $\xi_i^{\text{máx}}$ são os valores mínimos e máximos para os deslocamentos nodais impostos. O termo ρ é a densidade do material considerado para a estrutura a ser avaliada, e σ_i^c e σ_j^f os limites máximos de tração e compressão, respectivamente, aplicáveis de acordo com o problema.

2 METODOLOGIA

Dada a vasta gama de opções de algoritmos existentes para utilização na otimização de treliças, deve-se comparar seus resultados para que se comprove a sua eficiência na redução de massa. Para isso utilizam-se os casos benchmark, os mesmos englobam: a geometria base da treliça, seus carregamentos, restrições de projeto, valores limites das variáveis, modos de otimização, etc. Delimitando assim o domínio de valores da função objetivo e estabelecendo uma base de comparação de resultados. No presente capítulo serão apresentados dois casos de treliças planas e suas respectivas restrições, esses exemplos já estão estabelecidos na área da otimização estrutural e aparecem em diversas publicações.

Essas informações moldarão o cenário da otimização, e gerando assim um conjunto de soluções que quando comparado aos resultados de outros autores possibilitará uma avaliação objetiva da capacidade de redução de massa do método aplicado, bem como sua velocidade de convergência e demais dados estatísticos.

Avaliando as peculiaridades de cada caso, variando o número de elementos, restrições, configuração dos carregamentos, etc. Todas as restrições serão aplicadas concomitantemente, e a otimização ocorrerá de diferentes maneiras dependendo do caso, podendo ser paramétrica ou paramétrica e de forma.

Os dois problemas apresentados, a treliça plana de dez e de dezoito barras, serão constituídas de alumínio, a Tabela 1 descreve as propriedades consideradas para esse material.

Tabela 1: Propriedades do material das treliças

Material	E - Módulo de elasticidade longitudinal (N/m^2)	ρ - Massa específica (kg/m^3)
Alumínio	$68,95 \times 10^9$	2767,99

O algoritmo Firefly utilizado para otimização das treliças será programado em linguagem Python. Serão utilizados os parâmetros conforme a orientação do autor do algoritmo (YANG, 2010), sendo $\beta_{min} = 0,2$, $\alpha = 0,2$, $n=10$ e $\gamma = 1$, o número de iterações será limitado a cinco mil ciclos para o caso de dez barras e sete mil para o de dezoito. Para que se tenha uma base estatística serão feitas dez rodadas de otimização para que se possa estipular o desvio padrão do método e coeficiente de variância. Os valores de R serão estipulados para cada caso separadamente.

A cada nova iteração do algoritmo serão calculados os esforços normais e deslocamentos, para o caso da treliça de dez barras, e as tensões normais e de flambagem, no caso da treliça de dezoito barras, atualizando assim o valor da penalização, caso as restrições sejam violadas. Após os resultados ótimos terem sido obtidos eles foram verificados no software de análise estrutural STRAP, confirmando sua validade.

2.1 TRELIÇA PLANA DE 10 BARRAS

No presente caso será realizada a otimização paramétrica - a área das seções transversais das barras - em uma treliça plana em balanço de dez barras, Figura 3, e seis nós com restrições de tensão e deslocamento. As seções transversais serão consideradas como valores contínuos variando entre $64,5 \text{ mm}^2$ e 20000 mm^2 , conforme a Tabela 3, formando assim dez variáveis para serem otimizadas buscando uma redução no peso da estrutura.

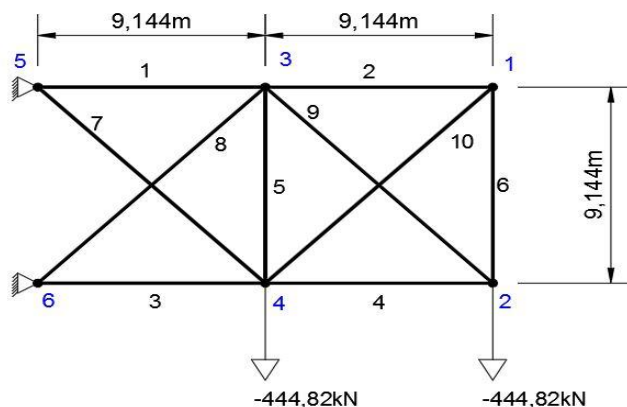


Figura 3: Treliça plana de 10 barras

Os nós 5 e 6 são restringidos quanto as suas translações nos eixos x e y, e os nós 2 e 4 são carregados verticalmente. Os carregamentos empregados são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2: Componentes dos carregamentos nodais para treliça plana de 10 barras.

Carregamento		
Nó	x	y
2 e 4	0	-444,82 kN

Os valores das tensões admissíveis de tração e compressão, deslocamentos e área transversais máximas e mínimas na Tabela 3.

Tabela 3: Restrições de projeto para treliça plana de 10 barras

Restrição	Valor
Tensão máxima	$\pm 517,11$ MPa para a barra 9 $\pm 172,37$ MPa para as demais barras
Deslocamento	$\pm 50,8$ mm na direção y para os nós 1,2,3,4
Valores limitantes das áreas	$64,5\text{mm}^2 \leq A_i \leq 2000\text{mm}^2$

2.2 TRELIÇA PLANA DE 18 BARRAS

O segundo caso a ser otimizado é a treliça plana de 18 barras mostrada na Figura 4, nesse caso além da otimização paramétrica, também será executada a otimização de forma paralelamente, sendo tanto as áreas como as coordenadas dos nós variáveis contínuas de projeto.

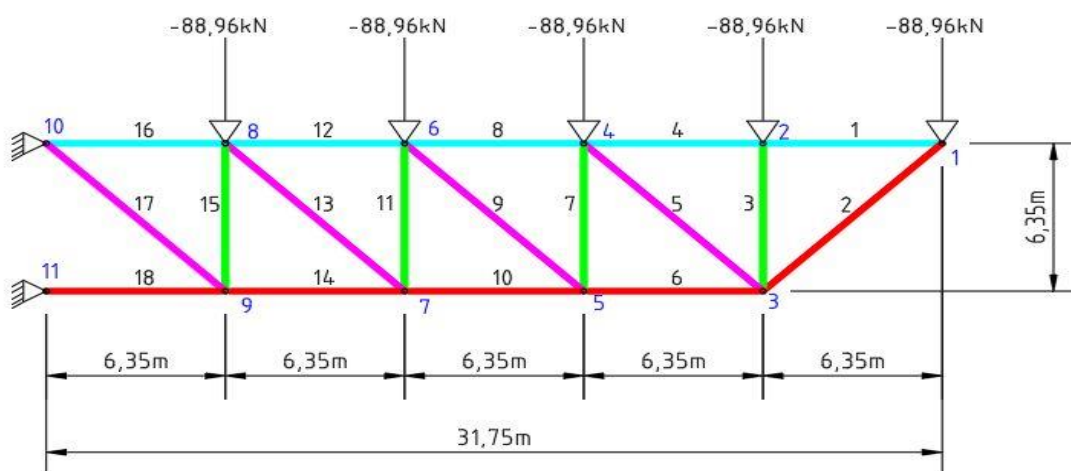


Figura 4: Treliça plana de 18 barras

Nesse problema serão utilizadas restrições de tensão normal e de flambagem simultaneamente. Os nós 10 e 11 tem suas translações restritas. O problema possui doze variáveis independentes para otimizar, oito delas são as coordenadas dos nós 3, 5, 7 e 9 e as outras quatro os grupos de áreas transversais das barras. O carregamento da treliça é apresentado na Tabela 4.

Tabela 4: Componentes dos carregamentos nodais para treliça plana de 18 barras.

Carregamento		
Nó	x	y
1,2,4,6 e 8	0	-88,96 kN

As áreas transversais foram divididas em quatro grupos que são mostrados na Figura 4 e na Tabela 5 sendo que cada cor representa um grupo, e as restrições aplicadas as mesmas para todos os grupos. Os deslocamentos dos nós 3, 5, 7 e 9 não são restringidos.

Tabela 5: Divisão dos grupos para as barras e restrições de projeto.

Grupos	Barras	Restrição de tensão
Grupo 1(Ciano)	A1=A4=A8=A12=A16	
Grupo 2(Vermelho)	A2=A6=A10=A14=A18	$\pm 137,895 \text{ MPa}$
Grupo 3(Verde)	A3=A7=A11=A15	
Grupo 4(Magenta)	A5=A9=A13=A17	
Valores limitantes das áreas		
$2258,06 \text{ mm}^2 \leq A_i \leq 11612,88 \text{ mm}^2$		

Nesse caso além das restrições de tensão normal teremos a de flambagem, levando em consideração o limite de tensão de compressão e tração na Tabela 5, a restrição de flambagem será calculada de acordo com a equação de Euler proposta por Lee e Geem⁽¹²⁾:

$$\sigma_i = \frac{-kEA_i}{L_i^2} \quad (8)$$

O símbolo σ_i representa a tensão de flambagem de Euler, k uma constante determinada pela geometria da seção transversal da barra, que aqui será considerada como k=4, E o módulo de elasticidade do material e A_i e L_i como a área transversal e o comprimento da barra, respectivamente.

3 RESULTADOS

3.1 OTIMIZAÇÃO DA TRELIÇA PLANA DE 10 BARRAS

Nos casos estudados os ciclos de otimização foram rodados 10 vezes, e no presente caso para cada ciclo foram feitas 5000 iterações, consistindo ao final de 50000 avaliações da função objetivo, na Figura 5 é apresentada a curva de convergência da otimização, a linha verde apresenta a média dos valores das dez rodadas e a linha vermelha o valor médio final dos processos. É possível verificar a convergência do processo acontecendo próxima a iteração número 3500, atingindo seu valor ótimo. O coeficiente R utilizado para esse processo foi de 1800.

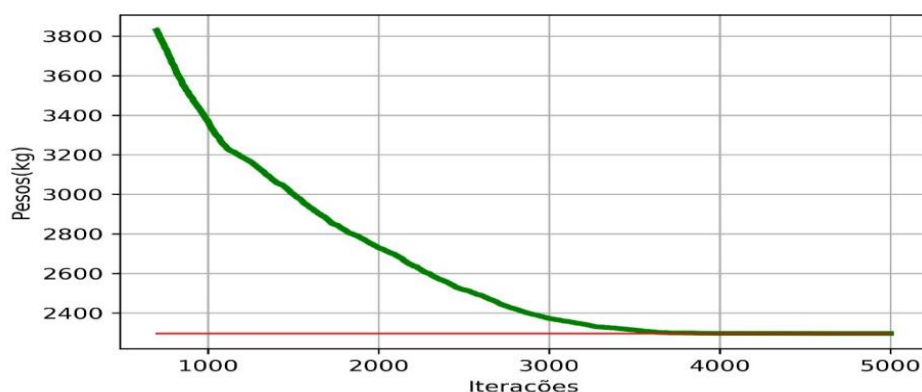


Figura 5: Curva de convergência para treliça de 10 barras.

O mesmo caso de otimização foi estudado por Eskandar, Sadollah, Bahreininejad⁽²⁾, utilizando o algoritmo Water Cycle Algorithm (WCA), Kaveh, Rahami⁽⁸⁾, utilizando o Algoritmo Genético (GA), Kaveh, Rad⁽⁷⁾, usando um híbrido de Algoritmo Genético e Enxame de Partículas, aqui designado como HGAPSO, e por último Lee e Geem⁽¹³⁾, utilizando o método Harmony Search(HS). Na Tabela 6 é possível ver a comparação do resultado do presente trabalho com os dos autores citados, aonde pode-se verificar que o resultado obtido pelo método Firefly apresentou o peso total da estrutura mais baixo dentre os resultados comparados.

Tabela 6: Comparação de resultados da otimização da treliça de 10 barras.

Algoritmo	WCA	GA	HGAPSO	HS	FA	
Autores	Eskandar, Sadollah e Bahreininejad ⁽²⁾	Kaveh e Rahami ⁽⁸⁾	Kaveh e Rad ⁽⁷⁾	Lee e Geem ⁽¹³⁾	Presente trabalho	
Áreas das seções transversais (mm ²)	A1	19696,73	19787,06	19761,25	19451,57	19519,11
	A2	64,52	64,52	64,52	65,81	64,5
	A3	14870,94	14754,81	14877,39	14651,58	14784,81
	A4	9696,75	9896,75	9683,85	9851,59	9705,02
	A5	64,52	64,52	64,52	65,81	65,48
	A6	361,29	296,77	380,64	350,97	300,48
	A7	4825,8	4825,8	4832,25	4865,15	4819,16
	A8	13625,78	13522,55	13612,88	13909,65	13610,37
	A9	13954,81	13999,97	13909,65	13838,68	13930,3
	A10	64,52	64,52	64,52	64,52	64,5
Peso Total(kg)	2295,17	2295,57	2295,34	2293,75	2285,39	

Na Tabela 7 estão descritos os valores das tensões para cada uma das dez barras da solução que gerou o menor peso dentre todas, o valor da tensão da barra 5 quase ultrapassou a restrição de 172,37MPa, as demais barras apresentaram valores muito abaixo do valor da restrição, indicando que o deslocamento provavelmente foi o fator que causou a convergência dos resultados.

Tabela 7: Valores das tensões normais para a treliça de 10 barras.

Barras	Tensões
1	46,19
2	-8,92
3	-59,37
4	-45,89
5	172,30
6	-1,91
7	127,05
8	-47,45
9	45,22
10	12,61

Na Tabela 8 podemos ver os valores de deslocamento para a solução com menor peso, aqui também os valores máximos permitidos, 50,8 mm na direção y, também quase foram atingidos, confirmando que os deslocamentos nodais foram os fatores limitantes do peso mínimo da estrutura.

Tabela 8: Valores dos deslocamentos nodais para treliça de 10 barras.

Nós	Deslocamentos em y(mm)
1	-50,28
2	-50,00
3	-18,71
4	-41,57

Na Tabela 9 constam os resultados estatísticos das dez rodadas independentes do algoritmo, mostrando uma pequena variância dentre os resultados ótimos encontrados e um peso médio ainda menor que o apresentado nos trabalhos de outros autores.

Tabela 9: Resultados estatísticos da otimização da treliça de 10 barras.

Melhor peso(kg)	Peso médio(kg)	Desvio Padrão(kg)	Coefficiente de variância
2285,39	2289,19	4,91	0,21%

3.2 OTIMIZAÇÃO DA TRELIÇA PLANA DE 18 BARRAS

Para a treliça de 18 barras também foram considerados 10 ciclos de otimizações independentes, cada ciclo conteve 7000 iterações, na Figura 6 são mostradas a curva dos valores médios das rodadas em verde e do peso médio

obtido em vermelho. Pode-se verificar que a convergência dos valores ocorre por volta de 6500 iterações. No presente caso foram feitas 70000 avaliações da função objetivo. O coeficiente de penalização R utilizado foi de 2200.

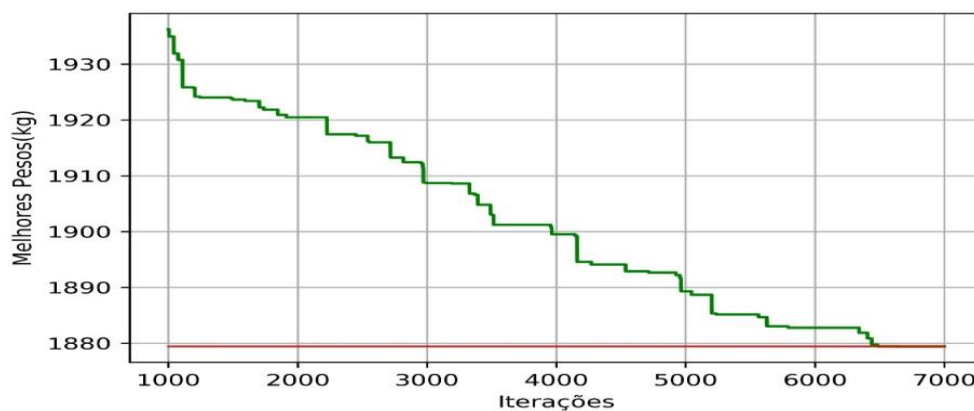


Figura 6: Curva de convergência para treliça de 18 barras.

Esse caso de otimização com as mesmas condições de contorno e restrições foi estudado por Lee e Geem⁽¹²⁾, utilizando o Harmon Search(HS), Kripakaran, Gupta e Baugh⁽¹⁰⁾, com o método Hybrid Search e Lamberti⁽¹¹⁾, com o Corrected Multi-Level & Multi-Point Simulated Annealing(CMLPSA).

Na Tabela 10 constam os valores das coordenadas dos nós 3, 5, 7 e 9, e as áreas dos quatro agrupamentos de barras do melhor resultado obtido do processo de otimização aplicado. A configuração da treliça encontrada pelo presente trabalho resultou em um peso total menor dos que os apresentados pelos estudos de referência, mostrando mais uma vez a robustez do método Firefly.

Tabela 10: Comparação de resultados para treliça de 18 barras

Algoritmo		HS	Hybrid Search	CMLPSA	FA
Autores		LEE e GEEM ⁽¹²⁾	KRIPAKARAN, GUPTA e BAUGH ⁽¹⁰⁾	LAMBERTI ⁽¹¹⁾	Presente Trabalho
Áreas das seções (mm ²)	G1	8161,27	8064,50	8054,05	7771,92
	G2	11109,66	10483,85	11501,85	9901,71
	G3	3980,64	5161,28	3400,77	2258,06
	G4	2290,32	2580,64	2393,80	2624,40
Coordenadas dos nós (m)	X3	22,94	23,50	23,16	23,04
	Y3	4,43	5,00	4,72	3,98
	X5	16,01	16,80	16,35	16,97
	Y5	3,46	3,80	3,75	2,94
	X7	10,21	10,90	10,52	10,84
	Y7	2,30	2,50	2,50	2,21
	X9	4,96	5,30	5,14	6,08
	Y9	0,78	0,50	0,78	0,96
Peso total (kg)		2048,24	2087,30	2043,86	1856,67

Na Figura 7 é possível visualizar o forma final da treliça de 18 barras após a otimização, representada pela linha contínua em preto, em contraste com a estrutura base, representada pela linha tracejada azul.

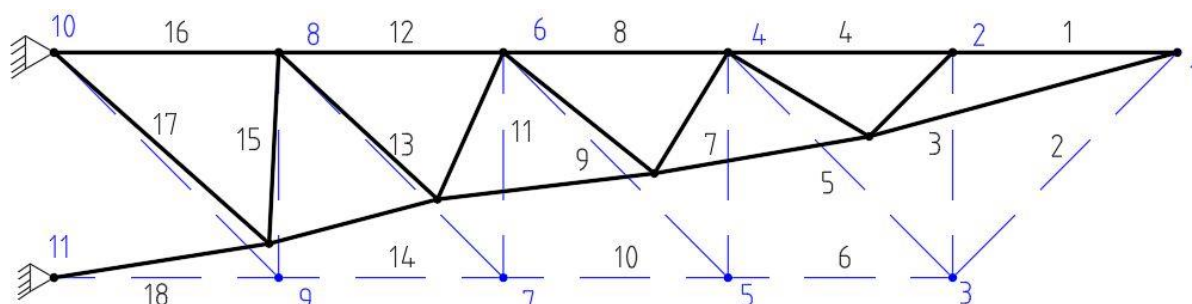


Figura 7: Resultado da otimização da treliça de 18 barras.

Na Tabela 11 constam os valores das tensões normais de compressão e tração, e também de flambagem para cada uma das barras, elas se encontram agrupadas pelos seus grupos. Nenhuma das barras apresentou um valor que violasse a restrição de tensão de 137,895MPa, no entanto a barra 16 chegou muito perto desse valor, um indicador que o valor da tensão nessa barra foi o que causou a convergência do processo.

Tabela 11: Valores das tensões normais e de flambagem para treliça de 18 barras

Variáveis	Barras	Tensões Normais(MPa)	Tensões Flambagem(MPa)
G1	1	42,07	-53,16
	4	53,46	-53,16
	8	84,89	-53,16
	12	125,97	-53,16
	16	137,87	-53,16
G2	2	-34,22	-33,53
	6	-56,88	-72,01
	10	-88,02	-71,69
	14	-111,00	-112,71
	18	-136,46	-72,01
G3	3	-55,58	-55,74
	7	-89,09	-39,07
	11	-122,86	-30,29
	15	-73,83	-21,44
G4	5	61,84	-33,59
	9	100,28	-24,23
	13	43,62	-19,40
	17	133,79	-10,97

Na Tabela 12 encontram-se os resultados estatísticos da otimização da treliça de 18 barras, mais uma vez o coeficiente de variância se mostrou bastante pequeno e o peso médio menor que as soluções encontradas por outros autores.

Tabela 12: Resultados estatísticos para a otimização da treliça de 18 barras

Melhor Peso(kg)	Peso Médio(kg)	Desvio Padrão(kg)	Coeficiente de variância
1856,67	1879,45	14,385	1%

4 CONCLUSÃO

No presente trabalho foi desenvolvido e implementado um algoritmo de otimização de massa em treliças utilizando o método meta-heurístico Firefly, considerando restrições de projeto como: deslocamento nodais, tensões normais e de flambagem nas barras. Os critérios de restrição garantem a segurança do usuário, e a redução de massa obtida a economia de recursos naturais e aumento da margem de lucro por parte do fabricante. Para a validação do potencial do algoritmo em questão foram utilizados dois casos benchmark de treliças encontrados na literatura, as treliças planas de dez barras e a de dezoito barras.

O algoritmo concebido pelo autor no trabalho em questão se mostrou eficiente em realizar a otimização dos dois casos propostos, obtendo resultados melhores-estruturas mais leves- que os encontrados na literatura em ambos e atendendo aos critérios de projeto exigidos.

Os resultados apresentados nas otimizações efetuadas apresentaram baixo coeficiente de variância e desvio padrão, o que indica uma alta taxa de reprodutibilidade dos resultados.

O algoritmo Firefly se mostrou eficiente em sua aplicação na otimização paralela de forma e paramétrica – caso da treliça de dezoito barras -, e dado os demais resultados apresentados acima, o mesmo se mostrou apto para otimização estrutural de treliças, tendo um desempenho acima dos demais métodos disponíveis.

REFERÊNCIAS

- 1 COELLO, C. A. C. Theoretical and numerical constraint-handling techniques used with evolutionary algorithms: a survey of the state of art. *Computer methods in applied mechanics and engineering*, v.191, p.1245-1287, 2002.
- 2 ESKANDAR, H.; SADOLLAH, A.; BAHREININEJAD, A. WEIGHT OPTIMIZATION OF TRUSS STRUCTURES USING WATER CYCLE ALGORITHM. *International Journal Of Optimization In Civil Engineering*, [s. l.], p. 115–129, 2013.
- 3 GANDOMI, A. H.; YANG, X. S.; ALAVI, A. H. Mixed variable structural optimization using Firefly Algorithm. *Computers & Structures*, v.89, ed.23, p.2325-2336, 2011.
- 4 HOLLAND, HENRY, J. *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, University of Michigan Press, Ann Arbor, 1975.
- 5 IZTOK, F. J. *et al.* A Brief Review of Nature-Inspired Algorithms for Optimization. *Elektrotehnikski Vestnik*, v.80 (3), English Edition, 2013.
- 6 KAVEH, A.; AZAR, B. F.; TALATAHARI, S. Ant Colony Optimization for Design of Space Trusses. *International Journal of Space Structures*, [s. l.], v. 23, n. 3, p. 167–181, 2008.
- 7 KAVEH, A.; RAD, S. M. HYBRID GENETIC ALGORITHM AND PARTICLE SWARM OPTIMIZATION FOR THE FORCE METHOD-BASED SIMULTANEOUS ANALYSIS AND DESIGN. *Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B: Engineering*, [s. l.], v. 34, p. 15–34, 2010.
- 8 KAVEH, A.; RAHAMI, H. Analysis, design and optimization of structures using force method and genetic algorithm. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, [s. l.], v. 65, n. 10, p. 1570–1584, 2006.
- 9 KENNEDY, J.; EBERHART, R. C. Particle swarm optimization. *Proc. of IEEE International Conference on Neural Networks*, Piscataway, NJ. p.1942-1948, 1995.

- 10 KRIPAKARAN, P.; GUPTA, A.; BAUGH, J. W. A novel optimization approach for minimum cost design of trusses. *Computers & Structures*, [s. l.], v. 85, n. 23–24, p. 1782–1794, 2007
- 11 LAMBERTI, L. An efficient simulated annealing algorithm for design optimization of truss structures. *Computers & Structures*, [s. l.], v. 86, n. 19–20, p. 1936–1953, 2008.
- 12 LEE, K. S.; GEEM, Z. W. A New Meta-Heuristic Algorithm for Continuous Engineering Optimization: Harmony Search Theory and Practice. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, v.194, p.3902-3933, 2005.
- 13 LEE, K. S.; GEEM, Z. W. A new structural optimization method based on the harmony search algorithm. *Computers & Structures*, [s. l.], v. 82, n. 9–10, p. 781–798, 2004.
- 14 LOPEZ, R.H; MIGUEL, L. F. F.; MIGUEL, L. F. F. Multimodal size, shape, and topology optimisation of truss structures using the Firefly algorithm. *Advances in Engineering Software*, v.56, p.23–37, 2012.
- 15 RIBEIRO, H.; VARGAS, H. C. Qualidade Ambiental Urbana: Ensaios de uma definição. In: (Org). *Novos Instrumentos de Gestão Ambiental Urbana*. São Paulo: Edusp, 2004. 146 p.
- 16 YANG, X. S. Firefly Algorithm, Stochastic Test Functions and Design Optimisation. *Int. J. Bio-Inspired Computation*, v.2, n.2, p.78–84, 2010.
- 17 YANG, X.-S. Firefly Algorithms for Multimodal Optimization. *Lecture Notes in Computer Sciences*, [s. l.], v. 5792, p. 169–178, 2009.

A INFLUÊNCIA DA DISPERSÃO DE LUZ, GERADA POR UMA CAMADA ADICIONAL DE TiO_2 , NOS PARÂMETROS ELÉTRICOS DE CÉLULAS SOLARES SENSIBILIZADAS POR CORANTES.

Andrade, R.L. ¹
Santos, M.J.L. ²
Oliveira, M.C. ³
Kohlrausch, E.C. ⁴

- ¹ Mestre, Rocelito Lopes de Andrade, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense, R. Pinheiro Machado, 205 - Industrial, Novo Hamburgo - RS, 93320-490, Rocelito.andrade@gmail.com
- ² PHD, Marcos José Leite dos Santos, Programa de Pós-Graduação em Ciências dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil, mjls.research@gmail.com
- ³ Doutorando, Matheus Costa de Oliveira, Programa de Pós-Graduação em Ciências dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil, matheuscdoliveira@gmail.com
- ⁴ Doutorando, Emerson Cristofer Kohlrausch, Programa de Pós-Graduação em Ciências dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil, matheuscdoliveira@gmail.com

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

Resumo

O objetivo deste trabalho foi estudar a influência de uma camada adicional de TiO_2 para proporcionar o espalhamento de luz (Light scattering) nos parâmetros elétricos de células solares sensibilizadas por corante. Como metodologia foram montadas células solares sensibilizadas por corantes com e sem uma camada adicional com característica espalhadora de luz (TiO_2 -rutila com 400 nm de diâmetro). Estas células foram caracterizadas através de curvas de corrente versus potencial (sob iluminação e no escuro). As curvas geraram os dados necessários para alimentar um algoritmo que gerou os principais parâmetros elétricos da célula. Através dos parâmetros obtidos a partir da caracterização elétrica das células com camada espalhadora de luz, comparadas com as células sem camada espalhadora de luz, pode se observar melhora na eficiência devido a um aumento de 10% na fotocorrente, mantendo o VOC constante, apesar do fator de forma ter degradado em 6%.

Palavras-chave: Células solares sensibilizadas por corante; Espalhamento da Luz; Aumento da Eficiência;

THE INFLUENCE OF LIGHT SCATTERING, GENERATED BY AN ADDITIONAL LAYER OF TiO₂, IN THE ELECTRICAL PARAMETERS OF DYE SENSITIZED SOLAR CELLS.

Abstract

The objective of this research article was to study the influence of an additional layer of TiO₂ to provide light scattering in the electrical parameters of dye-sensitized solar cells. As a methodology, dye-sensitized solar cells were assembled with and without an additional layer with light-scattering characteristic (TiO₂-rutile at 400 nm diameter). These cells were characterized by current versus potential curves (under illumination and in the dark). The curves generated the necessary data to feed an algorithm that generated the main electric parameters of the cell. Through the parameters obtained from the electrical characterization of cells with light scattering layer, compared to cells without light scattering layer, we observed improvement in efficiency due to an increase in the photocurrent of 10%, keeping VOC constant despite form factor has degraded to 6%.

Key words: DSSC; Light scattering; Increase Efficiency;

1. INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação do trabalho

O desenvolvimento de fontes alternativas de energia tem recebido crescente atenção nos últimos anos, devido a crescente consciência sobre os impactos causados pelo uso de uma matriz energética baseada em combustíveis fósseis.¹ Dentro deste contexto, a energia solar surge como uma alternativa promissora, em virtude de seu grande potencial energético. No momento, cerca de 90% dos módulos solares comercializados são baseados em células fotovoltaicas de silício mono e policristalino,² que apresentam elevado custo, o que se torna um dos fatores que limitam a popularização da geração de energia através de células solares.^{1,3,4} As células solares sensibilizadas por corante, também conhecidas como DSSCs (*Dye Sensitized Solar Cells*), representam uma excepcional alternativa para a produção de módulos solares com custo extremamente baixo. Como um sistema fotoeletroquímico regenerativo, as DSSCs tipicamente compreendem um eletrodo de TiO₂ mesoporoso sensibilizado por corante, um eletrólito contendo um par redox, e um contraeletrodo de platina que serve como catalisador (devolve rapidamente os elétrons ao eletrólito) para a reação redox. O mecanismo de funcionamento destes dispositivos baseia-se na separação de cargas fotoinduzidas na interface semiconductor/corante/eletrólito. Atualmente essas células solares apresentam eficiência de fotoconversão de até 10% em sua configuração clássica⁵⁻¹², porém, este valor pode variar com a modificação dos componentes chegando a alcançar até 13%.^{1,13}

A competição dinâmica entre a geração e a recombinação dos elétrons tem sido considerada como um gargalo que limita as DSSC de atingir eficiências de conversão mais elevados do que os valores atuais de 10 ~ 13%. Para otimizar a eficiência de conversão nas DSSCs, é fundamental compreender os processos de geração, recombinação e os mecanismos de transporte de corrente elétrica.

Uma abordagem para aumentar eficiência de fotoconversão é aumentar a captação de luz é através do espalhamento da luz incidente dentro da célula. Para tanto, neste trabalho, uma camada adicional de 5 μm com característica espalhadora de luz (TiO_2 -rutila com 400 nm de diâmetro) foi aplicada sobre a camada original do semicondutor para avaliação dos parâmetros elétricos de células solares sensibilizadas por corante.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Esta pesquisa tem por objetivo geral verificar a influência de uma camada adicional de TiO_2 para proporcionar o espalhamento de luz (Light scattering) nos parâmetros elétricos de células solares sensibilizadas por corante.

1.2.2 Objetivos Específicos

- ❖ Sintetizar partículas nanométricas (20 nm) e submicrométricas (400 nm) de TiO_2 ;
- ❖ Montar quatro conjuntos de DSSCs, diferenciando cada conjunto através da presença/ausência de camada espalhadora de luz;
- ❖ Gerar curvas tensão versus corrente para as células iluminadas e no escuro;
- ❖ Gerar os valores dos principais parâmetros que compõem o modelo elétrico das células;
- ❖ Comparar os resultados nos parâmetros elétricos obtidos das células com e sem camada espalhadora de luz;

1.3 REVISÃO DA LITERATURA

1.3.1 A célula solar sensibilizada por corante

Em 1991, um grupo de pesquisa liderado pelo professor M. Grätzel desenvolveu uma célula de conversão de energia solar em energia elétrica do tipo DSSC que causou grande interesse da comunidade científica. Ele mostrou que o uso de nanopartículas de TiO_2 (anatase) sensibilizadas por um corante resultava em geração eficiente de energia elétrica.^{14,15} As DSSC desenvolvidas por Grätzel tem grande versatilidade química, podem ser montadas com diferentes sensibilizadores, apresentam estabilidade energética e estrutural, baixo custo de produção, compatibilidade com o meio ambiente e geração de energia renovável com ótima eficiência.^{9,16,17}

A estrutura típica de uma DSSC está representada na *Figura 1* (direita). O fotoanodo é composto por um filme mesoporoso de nanopartículas de TiO_2 com cerca de 10 μm de espessura. As nanopartículas de TiO_2 apresentam dopagem do tipo-n (devido às vacâncias do oxigênio na rede cristalina). O filme de TiO_2 é depositado sobre um filme fino de FTO (*fluorine doped tin oxide*) suportado sobre uma lâmina de vidro. As nanopartículas de TiO_2 são cobertas por uma monocamada de sensibilizador (corante) que é adsorvido na superfície do TiO_2 através de grupos de ancoragem, principalmente carboxilatos e grupos fosfônicos. A estrutura mesoporosa do eletrodo de TiO_2 proporciona uma elevada área de

superfície que permite a adsorção de grandes quantidades de sensibilizador. O contra eletrodo (cátodo) é composto por um filme de nanopartículas de platina depositadas sobre um filme de FTO suportado sobre vidro. A função do contra-eletrodo é auxiliar na rápida regeneração do sensibilizador. Para evitar o curto-circuito, o eletrodo e o contraeletrodo são mantidos afastados através de um espaçador termoplástico de cerca de 35 μm que também auxilia na vedação da DSSC, sendo que uma camada de eletrólito líquido preenche o espaço entre os eletrodos.¹¹

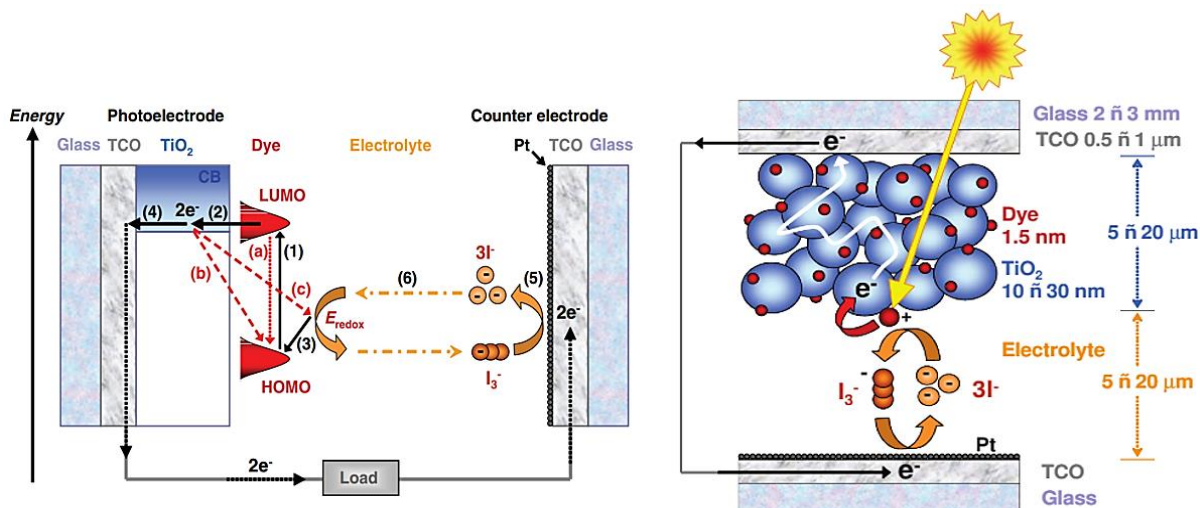


Figura 1. (esquerda) Princípio de funcionamento da DSSC. “1, 2, 3, 4, 5 e 6” são reações para frente conforme definido no texto. “a,b,c” são as reações “para traz” que limitam a fotocorrente: (a) relaxação do estado excitado do corante, (b) recombinação dos elétrons do SC com o corante oxidado e (c) com o triiodeto no eletrólito. (direita) Amostra esquemática das células fotoeletroquímicas usando nanocristalino TiO_2 .¹¹

O princípio que descreve a geração de fotocorrente é representado na *Figura 1* (esquerda). **(1)** Quando o corante (normalmente um complexo de rutênio) absorve um fóton com energia suficiente, um elétron é excitado do orbital molecular ocupado de maior energia (HOMO) para o orbital molecular desocupado de menor energia (LUMO). **(2)** Este processo é seguido pela injeção dos elétrons fotoexcitados para a banda de condução do semiconductor (normalmente TiO_2 - anatase). **(3)** Este processo resulta na oxidação (perda de elétrons) do HOMO do corante, que precisa ser regenerado (reduzido) pela captura de elétrons a partir do eletrólito (tipicamente doadores iodetos I^- e aceitadores triiodetos I_3^- em solução com solvente orgânico de acetonitrila). **(4)** O elétron injetado no filme TiO_2 viaja principalmente por efeito de difusão (e fracamente por campo elétrico)¹⁸⁻²⁰ até que ele encontra seu caminho para o eletrodo coletor onde é liberado para o circuito elétrico externo. O filme de TiO_2 apresenta estabilidade química a longo prazo (resistência à fotocorrosão), baixo custo de obtenção, não toxicidade, baixa sensibilidade à presença de impurezas e o benefício que a grande área superficial proporciona à eficiência.²¹⁻²³ **(5)** Na sequência do processo, o elétron retorna para a célula através de uma reação de redução do eletrólito no contraeletrodo. **(6)** O circuito elétrico da célula é completado pelo transporte iônico do par redox no eletrólito.

Descrições completas e detalhadas do sistema de operação de um DSSC pode ser encontrada facilmente na literatura.^{6, 11, 14, 15, 17, 24, 25, 26}

1.3.2 Principais Parâmetros elétricos de uma célula solar

A Figura 2 representa as características I-V (corrente x potencial) e P-V (potência x potencial) típicas de uma DSSC. A curva é registrada através da variação de tensão externa frente à fotovoltagem, ao mesmo tempo que se mede a corrente. A partir desta curva podem ser determinados os principais parâmetros elétricos que caracterizam as DSSCs: corrente de curto circuito, tensão de circuito aberto, ponto de máxima potência, fator de forma e eficiência, conforme descritos a seguir.²⁷

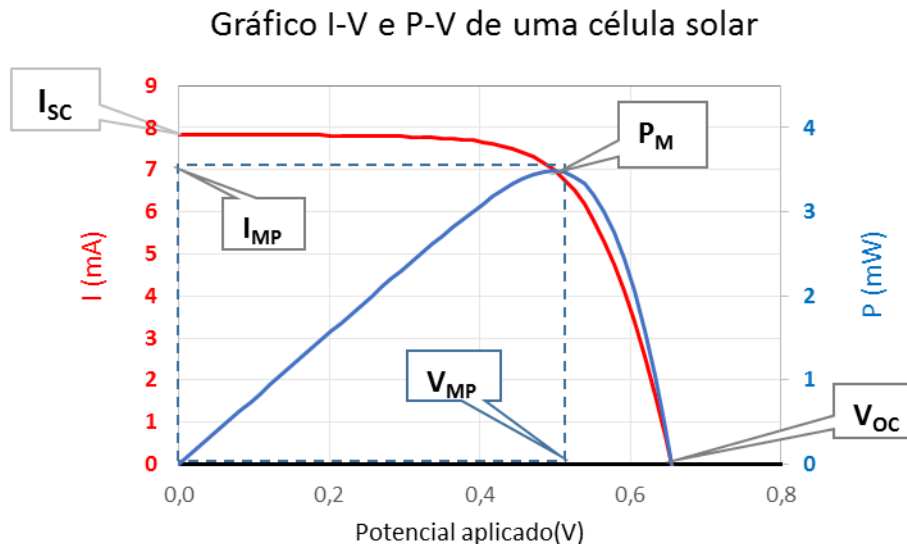


Figura 2. Corrente e potência elétrica em função da diferença de potencial aplicada em uma DSSC de 0,20cm² de área circular sob condições padrão de ensaio (irradiância 1.000W/m², espectro solar AM1.5, temperatura de 24°C). Os principais parâmetros elétricos são destacados. I_{sc} é a corrente de curto circuito, V_{oc} é a tensão de circuito aberto, P_M é a potência máxima, I_{MP} e V_{MP} são respectivamente a corrente e a tensão no ponto de máxima potência.

1) Corrente de Curto-Circuito (I_{sc}): é o maior valor de corrente gerada pela célula. A I_{sc} corresponde à corrente nas condições de curto-circuito, ou seja, quando a impedância conectada à célula corresponde a zero ohms. Neste caso a tensão de saída da célula é igual a zero ($V = 0$).

2) Tensão de Circuito Aberto (V_{oc}): diferença de energia entre o nível de Fermi do SC e o potencial do eletrólito influenciado por propriedades cinéticas. V_{oc} ocorre quando não há corrente alguma sendo fornecida pela célula ($I=0$).

3) Ponto de Máxima Potência (P_M): é o único ponto de operação, para valores instantâneos de irradiância e temperatura, em que os valores de corrente e tensão resultam em uma potência máxima. O ponto de potência máxima é definido pela seguinte equação:

$$P_M = I_{MP} \cdot V_{MP} \quad (1)$$

Onde I_{MP} e V_{MP} são respectivamente a corrente e a tensão no ponto de potência máxima. Os conversores eletrônicos que compatibilizam os parâmetros de tensão das células solares com as tensões da carga alimentada devem rastrear o ponto de potência máxima utilizando um sistema de controle automático,

maximum power point tracker (MPPT), de modo que seja disponibilizado à carga o máximo de energia disponível no painel solar^{28,29,30}.

4) Fator de forma ou Fill Factor (FF): o fator de forma é essencialmente uma medida de qualidade da célula solar e revela a quadratura da curva I-V. O FF é a relação entre a potência máxima que a mesma pode fornecer a uma carga e o produto de I_{sc} e V_{oc} . É expresso por:

$$FF = \frac{I_{MP}V_{MP}}{I_{SC}V_{OC}} \quad (2)$$

5) Eficiência (EF): é a relação entre a potência elétrica máxima disponível na saída da célula e a potência da luz irradiada (P_{IN}), expressado por:

$$EF = \frac{I_{MP}V_{MP}}{P_{IN}} \quad (3)$$

1.3.3 Influência da camada adicional de espalhamento de luz

Devido à existência de recombinação de carga na DSSC (o que resulta em uma perda de elétrons fotogerados durante o transporte) a espessura da película do fotoeletrodo, deve ser menor do que o comprimento de difusão de elétron. Idealmente, todos os elétrons fotogerados difundem através de uma curta distância dentro da película do fotoeletrodo e atingem o ânodo transparente antes que ocorra a recombinação. À medida que a película do fotoeletrodo se torna mais fina, a perda de energia encontrada pelos elétrons fotogerados é reduzida. Esta competição dinâmica entre a geração e a recombinação dos elétrons tem sido considerada como um gargalo que limita as DSSC de atingir eficiências de conversão mais elevadas do que os valores atuais de 10 ~ 13%.³¹ A melhoria da eficiência de captura de luz do fotoeletrodo é uma abordagem que pode reduzir a necessidade de uma maior espessura do filme no fotoeletrodo. Reduzir a espessura, sem perder fotogeração, serviria para reduzir a taxa de recombinação e melhorar o desempenho das DSSCs.³¹ Uma abordagem para aumentar a captação de luz é através do espalhamento da luz dentro da célula. Para tanto, uma camada adicional com característica espalhadora de luz (TiO_2 -rutila com 400 nm de diâmetro³²) é aplicada sobre a camada original do semicondutor. Devido ao tamanho suficientemente grande das partículas, a camada adicional tem área de superfície baixa o que praticamente não gera aderência do corante. Como mostrado na *Figura 3*, a camada adicional causa a dispersão da luz (*Light scattering*) gerando um aumento do percurso da mesma dentro do fotoeletrodo o que leva ao aumento da probabilidade de interação entre as moléculas de corante e os fótons, ou seja, aumentado na corrente gerada sem perda de tensão e gerando um ganho de eficiência.^{33,34}

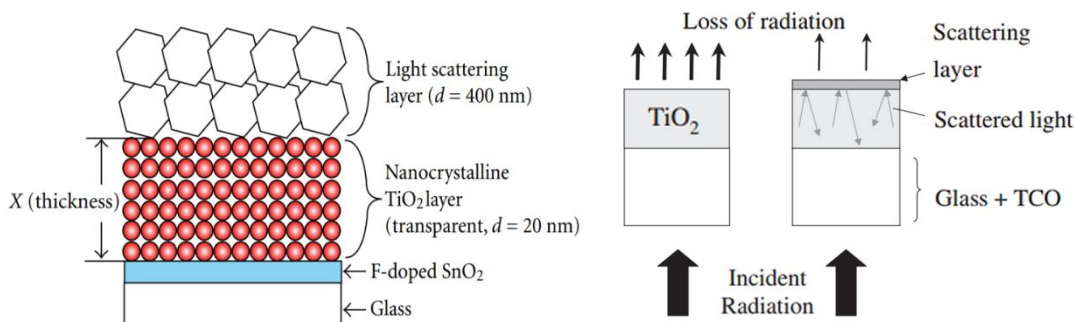


Figura 3. (esquerda) Estrutura de uma DSSC com camada adicional de TiO_2 -400 nm.³⁵ (direita) Processo de captura de luz na DSSC devido à adição de uma camada de dispersão.³²

2. MATERIAL E MÉTODO

2.1 SÍNTESE DAS NANOPARTÍCULAS DE TiO_2 DE 20 nm

As nanopartículas de TiO_2 de 20 nm a serem utilizadas nas células foram preparadas com base em metodologia descrita na literatura.¹⁷ 15,64 mL de isopropóxido de titânio 97% (Sigma-Aldrich) foi adicionado gota-a-gota 5,72 mL em uma solução de ácido acético (que evita a formação da fase rutilo) glacial à temperatura ambiente, sob vigorosa agitação por 15 minutos. Esta solução foi vertida em 72,5 mL de água, sob agitação, formando imediatamente um precipitado branco. Após 1 hora de agitação, adicionou-se, por gotejamento, 1 mL de ácido nítrico 63% (HNO_3 63%) à solução que foi aquecida a 78°C por 8 horas, sob forte agitação para que ocorresse a peptização, isto é, a destruição dos aglomerados e redispersão em partículas primárias. A solução foi em seguida filtrada sobre de um filtro poroso de vidro para remover aglomerados não peptizadas. Foi adicionada água ao filtrado para ajustar a concentração final de sólidos para ~ 5% em peso. O crescimento das nanopartículas com cerca de 20 nm de diâmetro foi obtido em um sistema de autoclave à 250°C por 12 horas (a temperatura influencia no tamanho desejado das partículas). Durante esse processo ocorreu a sedimentação das nanopartículas e para redispersá-las adicionou-se 0,6 mL de HNO_3 63% e utilizou-se um ultrassom de ponteira de 450 W por 30 ciclos de 2 segundos. A solução obtida foi centrifugada e lavada três vezes com etanol anidro para remover todo o excesso de ácido e remover a água. Após estes ciclos de centrifugação, obteve-se um precipitado de 40% de TiO_2 em etanol contendo traços de água.

2.2 SÍNTESE DE PARTÍCULAS SUBMICROMÉTRICAS DE TiO_2 DE 400 nm

O procedimento experimental para a síntese da pasta de partículas submicrométricas de TiO_2 com 400 nm de diâmetro, que serão utilizadas como camada de espalhamento da luz, foi realizado baseado na literatura.³⁶ Tetracloreto de titânio (3N; TiCl_4 , Sigma-Aldrich) foi utilizado como um material de partida para a fabricação de TiO_2 usando o método de precipitação homogênea. A fim de preparar a solução aquosa de TiOCl_2 a ser usada como uma solução estoque, TiCl_4 foi resfriado abaixo de 0°C. Para tanto foi colocado numa temperatura constante (0°C) em um recipiente de reação, em seguida, pedaços de gelo de água destilada foram adicionados ao recipiente para a reação de hidrólise. Durante a reação

ocorreram formação de produtos intermediários instáveis como $TiO(OH)_2$, estes produtos intermediários formaram-se em primeiro lugar, mas, em seguida, dissolvem-se com a adição de pedaços de gelo de modo a formar uma solução de $TiOCl_2$ amarelo aquosa. Os pedaços de gelo arrefecem o calor da reação da solução de $TiCl_4$, que ocorre a partir da reação com água e a umidade do ar, e também ajudam na reação seguinte através da formação de $TiO(OH)_2$ amarelado. Aqui, a concentração da solução aquosa de $TiOCl_2$ deve ficar em 2 M, e foi controlada por adição de pedaços de gelo. Segundo a literatura ³⁶, esta solução aquosa $TiOCl_2$ pode ser mantida num estado estável sem precipitação, mesmo após um ano à temperatura ambiente. Finalmente, adicionou-se água destilada para se obter uma solução aquosa de $TiOCl_2$ com concentração de 0,5 M de Ti_{4+} para assim gerar uma precipitação homogênea. Por outro lado, a adição direta de uma grande quantidade de água no $TiCl_4$ facilmente a torna branca e turva com formação de $Ti(OH)_4$ pela hidrólise da solução de $TiCl_4$, e sem formação de uma solução aquosa amarelo de $TiOCl_2$. TiO_2 cristalino em pó não foi precipitado durante o processo.

A precipitação homogênea foi obtida através da alteração das taxas de aquecimento e tempo de reação de uma solução aquosa $TiOCl_2$ à temperatura ambiente até 100 °C sob uma pressão de 1 atm. Depois de terminada a precipitação o material precipitado foi filtrado utilizando água destilada e etanol. Durante a etapa inicial de filtração, os precipitados foram filtrados por água destilada cujo pH era controlado por uma solução de HCl para evitar peptização (destruição dos aglomerados e redispersão em partículas primárias) durante a filtragem. Quando o valor do pH do precipitado era > 4, os precipitados eram filtrados continuamente utilizando etanol até que o valor de pH dos precipitados tornava-se neutro. Aqui, a utilização de etanol serviu para evitar a aglomeração entre precipitados, bem como para lavá-los. O filtrado precipitado foi seco a 50 °C durante 12h para se obter o pó final.

2.3 OBTENÇÃO DA PASTA DE TiO_2

A pasta foi obtida preparando-se uma solução com 0,5326 g de etil-celulose 5-15 mPAS, 0,42 g de etil celulose 30-60 mPAS, solubilizados em 2,145 mL de etanol anidro. Após a total solubilização da etil-celulose, adicionou-se 7,9 mL de tolueno a esta solução. A solução de etil-celulose foi adicionada no TiO_2 concentrado obtido anteriormente e homogeneizado, após isto adiciona-se 4,3 mL de Terpinol. A pasta foi então agitada e concentrada em ultrassom à 40°C até se tornar bem viscosa.

2.4 MONTAGEM DA DSSC

A pasta de TiO_2 foi impressa em tela em um substrato condutor transparente (óxido de estanho dopado com flúor - FTO) previamente embebido em solução aquosa de $TiCl_4$ 40 mM a 60 °C por 30 min. O substrato foi aquecido em uma placa quente a 125 °C por 20 min e a 450 °C por 30 min em forno tubular. O eletrodo mesoporoso de TiO_2 foi imerso em 0,5 mM cis-bis (isotiocianato) bis (2,20-bipiridil-4,40-dicarboxilato) -rutênio (II) N-719 em acetonitrila / álcool terc-butílico (1: 1 v/v) e mantido à temperatura ambiente por 24 h. Os contra-eletrodos foram preparados por revestimento da superfície do FTO com 30 μ L de ácido hexacloroplatínico 1 mM

e aquecidos a 500 °C. O dispositivo foi selado utilizando uma película polimérica de baixa temperatura de fusão (Meltonix). O eletrólito era um tiocianato de guanidina 0,6 M BMII, 0,03 M I₂, 0,10 M e 0,5 M de 4-terc-butilpiridina numa mistura de acetonitrilo e valeronitrilo.

2.5 OBTENÇÃO DAS CURVAS TENSÃO VERSUS CORRENTE PARA AS CÉLULAS ILUMINADAS E NO ESCURO

As curvas I-V das DSSCs foram obtidas em uma sala climatizada através de medidas de curvas de corrente elétrica *versus* potencial elétrico no intervalo entre -0,2V e +1,1V com dezoito e diferentes níveis de tensão (intervalo médio de 78 mV). Foram montados doze DSSCs conforme características listadas na *Tabela 1*. Para cada DSSC foram efetuadas cinco medições I-V, sendo três medições com iluminação (IC1, IC2 e IC3) e duas medições no escuro (IE1 e IE2) totalizando 36 curvas I-V. As curvas I-V de geração de fotocorrente foram obtidas em um sistema da Oriel Instruments, constituído por uma lâmpada de xenônio de 300 W, com intensidade de luz incidente de 100 mW.cm⁻², alimentada por uma fonte modelo 66485 gerando um espectro tipo AM1.5 relativo a referência spectral solar padronizada pela ASTM G-173 (*American Society for Testing and Materials Terrestrial Reference Spectra for Photovoltaic Performance Evaluation*). Os valores de tensão/corrente foram fornecidos/medidos por um instrumento tipo fonte-amperímetro (SourceMeter®) fabricado pela empresa Keithley modelo 2410-c. Este aparelho fornece tensão enquanto faz medições de corrente sem a necessidade de mudar as conexões. Através de uma rotina imposta por um programa de computador acoplado ao equipamento gera-se uma diferença de potencial em formato de rampa (V) nos terminais da célula e simultaneamente mede a corrente (I) na saída da célula. As medidas no escuro foram efetuadas enclausurando a célula em uma câmara escura especialmente construída para esta finalidade. Cada tipo de célula montada possuía uma diferenciação em relação a uma célula tomada como padrão conforme *Tabela 1*.

Os resultados obtidos pelas curvas I-V tanto no claro como no escuro foram gerados considerando que temperatura na DSSC durante o ensaio foi constante no valor de 24 °C e considerando a irradiância presente no ensaio como constante. Para evitar que o calor da lâmpada de tungstênio de alta potência, utilizada para o levantamento das curvas I-V, provocasse o aquecimento célula durante os ensaios foi ajustado o tempo de varredura da tensão de forma que o tempo total do ensaio fosse de apenas 12 segundos.

Tabela 1. Características das 12 células montadas

DSSCs	Característica da DSSCs
1 e 2	Célula Padrão ¹⁵ : Filme de TiO ₂ com 10 µm de espessura, tratado termicamente a 500 °C, sensibilizador N3; presença de camada de barreira (underlayer) ³⁷ .
3 e 4	Presença de camada adicional com 5 µm de espessura de TiO ₂ -rutila 400 nm utilizada como camada de espalhamento;

2.6 OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS PARA MODELAGEM ELÉTRICA

Conforme literatura consultada³⁸ os principais parâmetros de modelagem elétrica da célula solar são: resistência série R_s , resistência paralela R_p , fator de idealidade n , corrente de escuro I_0 e corrente elétrica de irradiância I_{PH} .

Para a obtenção dos cinco parâmetros elétricos citados foi utilizado o algoritmo estabelecido pela literatura³⁸ e os dados obtidos das curvas I-V no claro e no escuro da DSSC no capítulo 2.6. O referido algoritmo foi elaborado através equacionamento teórico do circuito utilizando a técnica de análise de circuitos chamada *leis de Kirchhoff*, a saber, “a soma das correntes em um nó é igual a zero” e “a soma das quedas de tensão em um circuito fechado é igual a zero”. Adicionalmente às leis de Kirchhoff são utilizados: a equação de Shockley para o diodo, a lei de ohm, técnica de derivação implícita, definição de resistência dinâmica e metodologia numérica para determinação do coeficiente de uma função exponencial

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 RESULTADOS DAS CÉLULAS SEM CAMADA DE ESPALHAMENTO

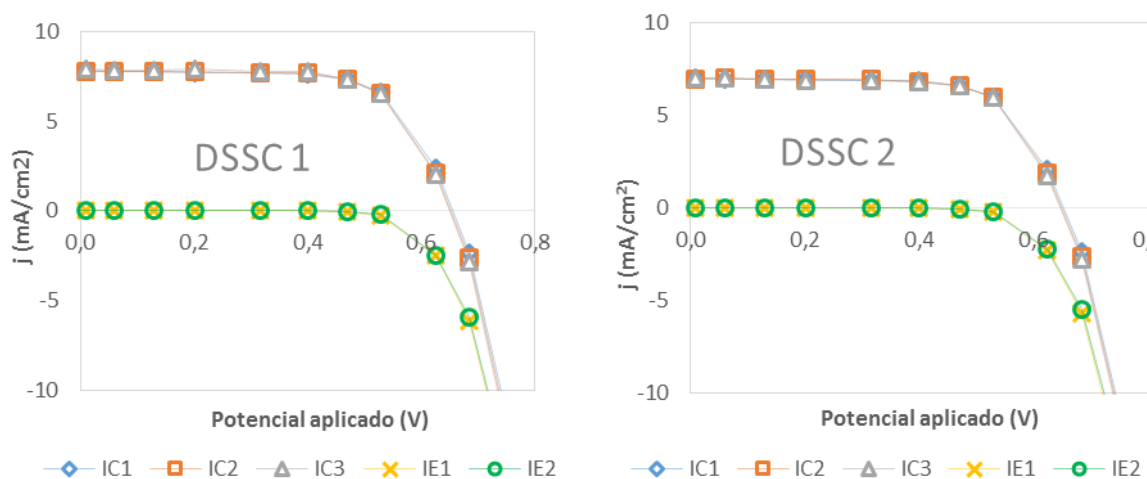


Figura 4. Caracterização elétrica das DSSCs 1 e 2 (Células padrão).

Tabela 2. Parâmetros obtidos a partir da caracterização elétrica das células 1 e 2. Dados interpolados: tensão de circuito aberto e corrente de curto circuito (V_{oc} e J_{sc}). Calculados conforme literatura³⁸ fator de forma, eficiência de fotoconversão, fator de idealidade, corrente de escuro, resistência paralela, resistência série e corrente fotogerada (EF, FF, n , J_0 , R_p , R_s e J_{PH})

	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA.cm ⁻²)	FF (%)	EF (%)	n -	J_0 (nA.cm ⁻²)	R_p (k Ω)	R_s (Ω)	J_{PH} (mA.cm ⁻²)
DSSC 1	0,65	7,84	68	3,49	1,93	13,2	7,70	5,86	7,85
DSSC 2	0,65	7,00	69	3,12	1,88	8,23	4,93	6,44	7,01
Média	0,65	7,42	68	3,30	1,91	10,69	6,32	6,15	7,43

A *Figura 4* mostra as curvas de corrente versus potencial para as DSSCs 1 e 2 (células padrão) sendo que IC1, IC2 e IC3 representam três leituras com iluminação e IE1 e IE2 representam as duas leituras no escuro. Sob irradiação as DSSCs 1 e 2 apresentaram fotocorrente média de $7,42 \text{ mA}\cdot\text{cm}^{-2}$. Na *Tabela 2* são mostrados os parâmetros obtidos das curvas I-V apresentadas na *Figura 4* conforme metodologia apresentada na literatura ³⁸.

3.2 INFLUÊNCIA DA CAMADA ADICIONAL DE ESPALHAMENTO DE LUZ

A *Figura 5* mostra as curvas de corrente versus potencial obtidas das DSSCs 3 e 4 sendo que IC1, IC2 e IC3 representam três leituras com iluminação e IE1 e IE2 representam as duas leituras no escuro. Estas células foram montadas com a adição de uma camada de ca. de $5 \mu\text{m}$ de espessura de partículas de TiO_2 com cerca de 400 nm de diâmetro. Na *Tabela 3* são mostrados os parâmetros obtidos das curvas I-V apresentadas na *Figura 5* conforme metodologia apresentada na literatura ³⁸.

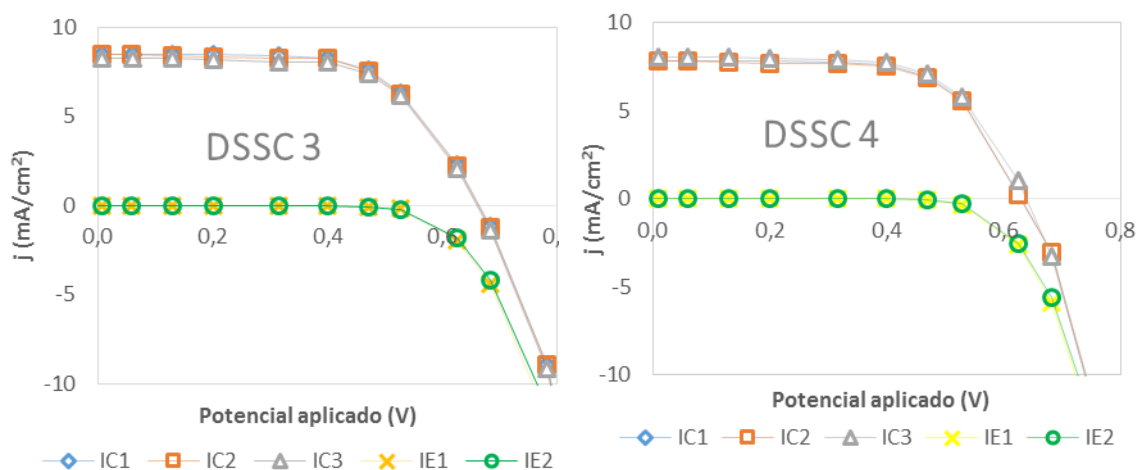


Figura 5. Caracterização elétrica das Células 3 e 4. Diferenciação das células padrão: Presença de camada adicional de TiO_2 utilizada como camada de espalhamento.

Tabela 3. Parâmetros obtidos a partir da caracterização elétrica das células 3 e 4. Dados interpolados: tensão de circuito aberto e corrente de curto circuito (V_{oc} e J_{sc}). Calculados conforme literatura ³⁸ fator de forma, eficiência de fotoconversão, fator de idealidade, corrente de escuro, resistência paralela, resistência série e corrente fotogerada (EF, FF, n, J_0 , R_p , R_s e J_{PH})

	V_{oc} (V)	J_{sc} ($\text{mA}\cdot\text{cm}^{-2}$)	FF (%)	EF (%)	n -	J_0 ($\text{nA}\cdot\text{cm}^{-2}$)	R_p ($\text{k}\Omega$)	R_s (Ω)	J_{PH} ($\text{mA}\cdot\text{cm}^{-2}$)
DSSC 3	0,662	8,40	62	3,43	2,22	64,7	3,21	7,98	8,42
DSSC 4	0,633	7,89	66	3,29	1,93	18,5	3,00	7,02	7,91
Média	0,65	8,14	64	3,36	2,07	41,59	3,10	7,50	8,16

Através dos parâmetros obtidos a partir da caracterização elétrica das células 3 e 4 (*Tabela 3*), comparadas com as células padrão 1 e 2 (*Tabela 2*), pode

se observar que a camada adicional aumentou a fotocorrente (10%), o VOC manteve-se constante e o fator de forma degradou (6%), e como resultado a eficiência da célula aumentou (2%),

É importante observar que nos dispositivos 1 e 2, sem camada espalhadora de luz, o filme de TiO_2 com cerca de 10 μm de espessura é constituído por partículas com cerca de 20 nm de diâmetro, portanto, há cerca de 500 camadas de nanopartículas no filme semicondutor, considerando que cada molécula de corante tem menos de 1 nm, a espessura da camada fotoativa é inferior a 500 nm, logo deduzimos que adicionar uma camada de espalhamento de luz contribuiu para aumentar a geração de pares elétron-buraco. Também podemos observar que na célula com a camada adicional de TiO_2 ocorreu um aumento substancial da resistência série (22%) nos fazendo deduzir que espessuras menores da camada espalhadora de luz certamente iriam gerar menores impactos no Fator de Forma (FF) da célula.

4. CONCLUSÃO

Para que as células solares sensibilizadas por corante se consolidem como uma alternativa de geração de energia é necessário otimizar a eficiência de conversão nas DSSCs.

Através da metodologia apresentada neste trabalho foi possível verificar que uma camada adicional com 5 μm de espessura de TiO_2 -rutila com 400 nm de diâmetro, apesar de aumentar a resistência série (22%) e assim degradar o FF (6%), provocou o aumento do percurso da luz dentro da área fotoativa da célula incrementando de forma relevante a fotocorrente gerada (10%) e melhorando da eficiência da célula (2%).

Recomenda-se que novos estudos sejam feitos de forma a avaliar a influência da espessura da camada espalhadora de luz de formar a verificar-se a espessura ótima com respeito a eficiência da célula.

REFERÊNCIAS

- 1 Sonai, G.S., Melo, M.A., Nunes J.B., Megiatto, J.D., Nogueira A.F.; Células solares sensibilizadas por corantes naturais: um experimento introdutório sobre energia renovável para alunos de graduação. *Quim. Nova* **2015**, *38(10)*, 1357-1365
- 2 Toivola, M., Peltola, T., Miettunen, K., Halme, J., Lund, P.; Thin film nano solar cells from device optimization to upscaling. *J Nanosci Nanotechnol* **2010**, *10(2)*, 1078–1084
- 3 Murayama, M., Mori, T.; Evaluation of treatment effects for high performance dye-sensitized solar cells using equivalent circuit analysis. *Thin Solid Films* **2006**, *509(1-2)*, 123-126
- 4 Murayama, M., Mori, T.; Novel Tandem cell structure of dye sensitized solar cell for improvement in photocurrent. *Thin Solid Films* **2008**, *516(9)*, 2716-2722
- 5 Meng, N., Leung, M.K.H., Leung, D.Y.C., Sumathy, K.; Theoretical modeling of TiO₂/TCO interfacial effect on dye-sensitized solar cell performance. *Solar Energy Materials & Solar Cells* **2006**, *90(13)*, 2000-2009
- 6 Grätzel, M; Photoelectrochemical cells. *Nature* **2001**, *414(6861)*, 338-344
- 7 Han L., Koide N., Chiba Y., Mitate T.; Modeling of an equivalent circuit for dye-sensitized solar cells. *Applied Physics Letters* **2004**, *84(13)*, 2433-2435
- 8 Kern, R., Sastrawan, R., Ferber, J., Stangl, R., Luther, J.; Modeling and interpretation of electrical impedance spectra of dye solar cells operated under open-circuit conditions. *Electrochimica Acta* **2002**, *47(26)*, 4213–4225
- 9 Obotowo, I.N., Obot, I.B., Ekpe, U.J.; Organic sensitizers for dye-sensitized solar cell (DSSC): Properties from computation, progress and future perspectives. *Journal of Molecular Structure* **2016**, *1122*, 80-87.
- 10 Ni, M., Leung, M.K.H., Leung, D.Y.C., Sumathy, K.; An analytical study of the porosity effect on dye-sensitized solar cell performance; *Sol Energy Mater Sol Cells* **2006**, *90(9)*, 1331–1344
- 11 Halme, J., Vaherma, P., Miettunen, K., Lund, P.; Device Physics of Dye Solar Cells; *Adv. Mater* **2010**, *22(35)*, 210-234
- 12 Grätzel, M., Conversion of sunlight to electric power by nanocrystalline dye-sensitized solar cells; *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* **2004**, *164(1-3)*, 3–14
- 13 Yella, A., Lee, H.W., Tsao, H.N., Yi, C., Chandiran, A.K., Nazeeruddin, M.K., Diau, E.W., Yeh, C.Y., Zakeeruddin, S.M., Grätzel, M.; Porphyrin-sensitized solar cells with cobalt (II/III)—based redox electrolyte exceed 12 percent efficiency. *Science* **2011**, *334(6056)*, 629–634
- 14 Santos, A.J.; *Separação e Recombinação de Cargas em Células Solares Fotoeletroquímicas*, disponível em

-
- www.repositorio.ufal.br/bitstream/riufal/1016/1/Tese_AgnaldoJosedosSantos_2010.pdf (acesso em 15/06/2016)
- 15 O'Regan, B., Grätzel, M.; A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films **1991**, *Nature*, 353(6346), 737–740
 - 16 Sengupta, D., Dasa, P., Mondala, B., Mukherjee, K.; Effects of doping, morphology and film-thickness of photo-anode materials for dye sensitized solar cell application – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **2016**, 60, 356–376
 - 17 Barbe, C.J.; Arendse, F., Comte, P., Jirousek, M., Lenzmann, F., Shklover, V., Gratzel, M.; Nanocrystalline titanium oxide electrodes for photovoltaic applications. *Journal of the American Ceramic Society* **1997**, 80(12), 3157-3171
 - 18 Gratzel, M.; Heterogeneous Photochemical Electron Transfer. *CRC Press: Boca Raton* **1989**, FL
 - 19 O'Regan, B., Moser, J., Anderson M., Gratzel, M.; Vectorial Electron Injection into Transparent Semiconductor Membranes and Electric Field Effects on the Dynamics of Light-Induced Charge Separation. *The Journal of Physical Chemistry* **1990**, 94(24), 8720-8726
 - 20 Hagfeldt, A. ; Bjorksten, U. ; Lindquist, Se.; Photoelectrochemical Studies Of Colloidal TiO₂-Films - The Charge Separation Process Studied By Means Of Action Spectra In The UV Region. *Solar Energy Materials And Solar Cells* **1992**, 27(4), 293-304
 - 21 Landmann, M., Rauls E., Schmidt W.G.; The electronic structure and optical response of rutile, anatase and brookite TiO₂. *Journal of Physics: Condensed Matter* **2012**, 24(19), 195503
 - 22 Costal, A. C. F. M., Vilarl, M. A., Liral, H. L., Kiminamill, R.H.G.A., Gamal, L.; Síntese e caracterização de nanopartículas de TiO₂; *Cerâmica* **2006**, 52(324), 255-259
 - 23 Castro, A. L. et al; Synthesis of anatase TiO₂ nanoparticles with high temperature stability and photocatalytic activity. *Solid State Sciences* **2008**, 10(5), 602-606
 - 24 Grätzel, M.; Solar energy conversion by dye-sensitized photovoltaic cells; *Inorganic chemistry* **2005**, 44(20), 6841-51
 - 25 Wang, Q., Ito, S., Grätzel, M., Fabregat-Santiago, F., Mora-Sero, I., Bisquert, J.; Characteristics of high efficiency dye-sensitized solar cells; *The Journal of Physical Chemistry B* **2006**, 110(50), 25210-25221
 - 26 Jørgensen, M., Carlé, J.E., Søndergaard, R.R., Lauritzen, M., Dagnæs-Hansen, N.A., Byskov, S.L., Andersen, T.R., Larsen-Olsen, T.T., Böttiger, A.P.L., Andreasen, B., Fu, L., Zuo, L., Liu, Y., Bundgaard, E., Zhan, X., Chen, H., Krebs, F.C.; The state of organic solar cells—A meta analysis. *Solar Energy Materials and Solar Cells* **2013**, 119(2013), 84-93
 - 27 Sodergren, S., Hagfeldt, A., Olsson, J.; Lindquist, S.-E.; Theoretical models for the action spectrum and the current-voltage characteristics of microporous semiconductor films in photoelectrochemical cells. *Journal of physical chemistry* **1994**, 98(21), 5552-5556

-
- 28 Chin, V.J., Salam, Z., Ishaque, K.; Cell modelling and model parameters estimation techniques for photovoltaic simulator application: A review. *Applied Energy* **2015**, *154*, 500-519
- 29 Ganesh, D., Moorthi, S., Sudheer, H.; A Voltage Controller in Photo-Voltaic System with Battery Storage for Stand-Alone Applications. *International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS)* **2012**, *2(1)*, 9-18
- 30 Tavares, M.A.P.; *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*, disponível em www.portal-energia.com/downloads/livro-manual-de-engenharia-sistemas-fotovoltaicos-2014.pdf (acesso em 15/02/2016)
- 31 Wanga, Z.S., Kawauchib, H., Kashimab, T., Arakawac, H.; Significant influence of TiO₂ photoelectrode morphology on the energy conversion efficiency of N719 dye-sensitized solar cell. *Coordination Chemistry Reviews* **2004**, *248(13-14)*, 1381-1389
- 32 Hore, S., Vetter, C., Kern, R., Smit, H., Hinsch, A.; Influence of scattering layers on efficiency of dye-sensitized solar cells. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* **2006**, *90*, 1176-1188
- 33 Zhang, Q. et al; Light scattering with oxide nanocrystallite aggregates for dye-sensitized solar cell application. *Journal of Nanophotonics* **2010**, *4(1)*, 041540-23
- 34 Ito, S., Nazeeruddin, M.K., Zakeeruddin, S.M., et al.; Study of Dye-Sensitized Solar Cells by Scanning Electron Micrograph Observation and Thickness Optimization of Porous Electrodes. *International Journal of Photoenergy* **2009**, *special section*, 1-8
- 35 Ito, S., Nazeeruddin, M.K., Zakeeruddin, S.M., et al.; Study of Dye-Sensitized Solar Cells by Scanning Electron Micrograph Observation and Thickness Optimization of Porous Electrodes. *International Journal of Photoenergy* **2009**, *special section*, 1-8
- 36 Kim, S.J., Park, S.D., Jeong, Y.H.; Homogeneous Precipitation of TiO₂ Ultrafine Powders from Aqueous TiOCl₂ Solution. *J. Am. Ceram. Soc.* **1999**, *82(4)*, 927-932
- 37 Ito, S., Murakami, T.N., Comte, P., Liska, P., Grätzel, C., Nazeeruddin, M.K., Grätzel, M.; Fabrication of thin film dye sensitized solar cells with solar to electric power conversion efficiency over 10%. *Thin Solid Films* **2008**, *516(14)*, 4613-4619
- 38 Andrade, R.L., Oliveira, M.C., Kohlrausch, E.C., Santos, Marcos J.L.; Simplified and quick electrical modeling for dye sensitized solar cells: An experimental and theoretical investigation. *Journal of Physics and Chemistry of Solids* **2018**; *116 (2018)*, 273-280

A MELHOR ESCOLHA ENTRE DIFERENTES MOTORIZAÇÕES PARA AUTOMÓVEIS DE USO URBANO SEGUNDO CRITÉRIOS AMBIENTAIS, TÉCNICOS E ECONÔMICOS

De Barba Jr, D. J.¹

Klein, L. S.²

Bork, C. A. S.³

¹ Doutor, Durval João De Barba Junior, IFSul, debarbajr@sapucaia.ifsul.edu.br.

² Engenheiro, Luccas Souza Klein, IFSul, Luccas_Gaspar@hotmail.com.

³ Doutor, Carlos Alberto Schuch Bork, IFSul, carlosbork@gmail.com.

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

Resumo

A preocupação com o impacto ambiental causado pelos veículos com motores de combustão interna e futura escassez de petróleo no mundo implicou na busca por novas alternativas de combustível, como o etanol, e de motorizações, como a elétrica e híbrida. Estas alternativas mostram-se vantajosas ao analisar critérios ambientais, mas não há certeza de suas superioridades ao analisar outros atributos considerados importantes para o consumidor. Neste trabalho, analisou-se as vantagens e desvantagens de cada tipo de motorização com o objetivo de apontar a motorização mais correta segundo critérios ambientais, técnicos e econômicos. A classificação das melhores motorizações foi avaliada utilizando o software do Método de Apoio Multicritério à Decisão PROMETHEE. Para a utilização do método definiu-se critérios ambientais, técnicos e econômico relacionados à veículos tradicionais, elétricos e híbridos. Avaliou-se, estes critérios, em função de sua importância por meio de uma pesquisa aplicada a noventa pessoas. Representou-se as motorizações, alvos da comparação deste estudo, ao menos dois veículos de diferentes montadoras, mas de mesma categoria. Com a aplicação do método PROMETHEE chegou-se à classificação dos melhores veículos onde o Honda Civic com motorização à gasolina se mostrou como a opção de preferência principalmente em função de suas vantagens econômicas seguido do Volkswagen Golf à gasolina e do Golf à etanol. Neste trabalho apresentou-se, também, o motivo dos veículos elétricos e híbridos não serem apontados como a melhor alternativa ocupando posições medianas no ranking das melhores opções de veículos.

Palavras-chave: Método PROMETHEE; Veículos Híbridos; Veículos Elétricos; Motores de Combustão Interna.

THE BEST CHOICE BETWEEN DIFFERENT MOTORIZATIONS FOR URBAN USE BY ENVIRONMENTAL, TECHNICAL AND ECONOMIC CRITERIA

Abstract

The concern with the environmental impact caused by vehicles with intern combustion engine and with the future lack of petroleum in the world resulted on the search for new alternatives of fuel such as ethanol, and of motorizations like the electrical and hybrid ones. These alternatives show advantages when analyzing environmental criteria, but there is no assurance of superiority when other attributes considered important by

customers are taken in consideration. This study analyzed the advantages and disadvantages of each type of motorization with the objective of showing the most appropriate motorization according to environmental, technical and economic criteria. The classification of best motorizations was determined using the software of PROMETHEE – Method of Multicriteria Decision Support. In order to use the Method, environmental, technical and economic criteria was defined related to traditional, electrical and hybrid vehicles. These criteria were evaluated according to their importance through a research which involved ninety people. The motorizations, target of the comparison of the study, were represented by at least two vehicles of different vehicle assemblers, but of the same category. With application of PROMETHEE Method the best classification of vehicles was reached. The Honda Civic with gas motorization showed to be the preferred option, mainly due to its economic advantages, followed by the gas Volkswagen Golf and the ethanol Gol. The study also presented why electric as hybrid vehicles weren't identified as the best options of vehicles, occupying median positions on the ranking.

Key words: PROMETHEE Method; Híbridos vehicles; Eletric Vehicles; Engines of intern combustion.

1 INTRODUÇÃO

Segundo a Organização Internacional dos Construtores de Automóveis⁽¹⁾ a frota mundial de automóveis atingiu, em 2008, a marca de 1 bilhão de veículos em circulação. No Brasil, estima-se que em 2013 se tenha atingido a marca de 45 milhões de automóveis em circulação. Isto significa uma taxa de um carro a cada quatro habitantes.

Embora o tradicional veículo utilizando motor de combustão interna à gasolina ainda seja o mais utilizado no Brasil, acredita-se que este tipo de combustível está ultrapassado⁽²⁾. Além disto, aumentou a preocupação com a emissão de poluentes causados pela queima de combustíveis no mundo e, com isto, novas opções surgem com o objetivo de substituir os automóveis à gasolina por meio de combustíveis alternativos, como o etanol, ou de diferentes motorizações como a utilizada em veículos elétricos ou híbridos. Cada uma destas tecnologias, porém, apresenta suas próprias características, dificultando, assim, para o consumidor, avaliar a opção que alie custo-benefício, bom desempenho e baixos índices de emissões.

Analisando, então, fatores econômicos, técnicos e ambientais, qual o tipo de motorização para um automóvel de uso urbano se torna a opção mais vantajosa pelo ponto de vista sustentável?

Diversos são os fatores que podem influenciar na resposta e a grande quantidade de variáveis ambientais, técnicas e econômicas pode fazer com que o consumidor, no momento da compra de um novo automóvel, tenha dúvidas em avaliar qual o veículo se apresenta como aquele de melhor custo-benefício do ponto de vista sustentável. Para auxiliar nesta questão, este trabalho se propõe em levantar estas variáveis e apontar a melhor opção de motorização sendo seu objetivo de apontar qual o tipo de motorização mais correta dos pontos de vista ambiental, técnico e econômico.

Este trabalho aborda os motores de combustão interna (à gasolina e etanol) e os motores elétricos.

Os motores de combustão interna ainda são, a nível mundial, os mais utilizados na construção de veículos. São motores eficientes quando comparados com outros tipos de motores de combustão externa, de relativo baixo custo se comparados com turbinas e fáceis de abastecer. Sua característica é gerar movimento a partir da explosão de um combustível dentro de um sistema fechado⁽²⁾.

Analisando o aspecto ambiental a gasolina, se comparada com combustíveis alternativos, é, junto com o diesel, a fonte de combustível com maior potencial de poluição. Além disto, segundo o levantamento da frota de veículos no Brasil realizada pelo Departamento Nacional de Transito⁽³⁾ aproximadamente 32% da frota nacional são movidos exclusivamente à gasolina e aproximadamente 57% são movidos tanto à gasolina quanto à álcool. Estes dados sugerem que grande parte das emissões causadas por veículos tem origem naqueles motorizados à gasolina. Um levantamento da emissão de poluentes na região metropolitana de Porto Alegre analisou a frota da região composta por cerca de 1,1 milhão de veículos. Como resultado fora visto que a emissão de gás carbônico gerada pela gasolina é oito vezes maior que a de outras fontes de combustível, como o etanol⁽⁴⁾.

O fato da gasolina ainda ser utilizada como principal forma de combustível deve-se, principalmente, à 1) sua densidade energética, o que promove maior autonomia quando comparada com veículos elétricos ou híbridos; 2) a facilidade e rapidez de encontrar um local para abastecimento completo do tanque em função da produção em grande escala da gasolina a partir do petróleo e da infraestrutura das cidades já estarem preparadas para acomodar este tipo de tecnologia; e 3) o poder calorífico 32% maior do que o do etanol, o que permite alcançar melhores nível de consumo⁽⁵⁾

O etanol é um biocombustível produzido a partir de matéria-prima renovável e caracteriza-se por ter oxigênio em sua composição química, diferentemente da gasolina que é composta basicamente por hidrocarbonetos. Isto garante uma queima mais limpa quando comparada àquela proveniente de combustíveis fósseis e, portanto, menores níveis de emissão de poluentes na atmosfera.

Um estudo comparou o ciclo de vida do etanol americano com o da gasolina e verificou uma redução de até 25% da emissão de gases causadores do aquecimento global utilizando a mistura de 95% de etanol e 5% de gasolina por volume se obtém uma redução de 42-44% de utilização de energia proveniente de combustíveis fósseis⁽⁶⁾.

A utilização do etanol como forma de combustível oferece maior octanagem e aumento da potência do motor quando comparado com a gasolina, no entanto, a autonomia de veículos utilizando etanol é menor. Tomando-se como referência apenas o aspecto técnico, a maior desvantagem na utilização do etanol puro (E100) como forma de combustível é a dificuldade da partida do motor em temperaturas abaixo de 15°C⁽⁶⁾.

Com o aumento das preocupações ambientais em função das emissões de gases provenientes de veículos de combustão interna e a crise de petróleo nos anos 1980 e 1990, motorizações alternativas foram levantadas com o intuito de utilizar fontes de combustível renováveis aliado à diminuição da produção de poluentes na atmosfera. É neste cenário que o desenvolvimento de veículos com motores elétricos é retomado pela indústria⁽⁷⁾.

Além do carro exclusivamente elétrico existem outras motorizações que também utilizam a eletricidade ao invés da gasolina, tais como: veículos híbridos

tradicionais, híbridos plug-in e carros movidos a célula combustível (hidrogênio)⁽⁸⁾.

Os veículos plenamente elétricos são caracterizados por terem seu funcionamento baseado em um módulo de baterias, que podem ser carregadas externamente, e um motor elétrico que realiza a conversão da energia elétrica em energia mecânica para o movimento das rodas. Em função de não serem equipados com um motor de combustão interna, estes veículos são categorizados como automóveis zero emissões, pois não há qualquer emissão de gases poluentes no escapamento. Além disto, também não há emissão de ruídos, e o carregamento das baterias pode ocorrer, até mesmo, em tomadas convencionais em domicílio⁽⁹⁾.

No entanto, apesar da não emissão de poluentes durante o funcionamento, é preciso analisar o tipo de combustível utilizado para a produção da energia elétrica que será utilizada para seu carregamento⁽⁹⁾. Exemplificando o impacto da fonte de combustível para geração de energia elétrica nos níveis de emissões de poluentes de veículos elétricos, foi realizado uma comparação entre a emissão de CO₂ no ciclo de vida de veículos tradicionais, veículos elétricos e veículos híbridos, analisando para diferentes cenários de produção de energia elétrica na Alemanha. Como resultado foi visto que quando utilizado o carvão como matéria-prima para a produção de eletricidade, os níveis de emissão de gás carbônico dos veículos elétricos são maiores em relação à veículos à gasolina ou diesel. As motorizações alternativas só se tornam as opções ambientalmente vantajosas quando se utilizam fontes renováveis para a obtenção da energia elétrica⁽¹⁰⁾. Os resultados são mostrados na Figura 1.

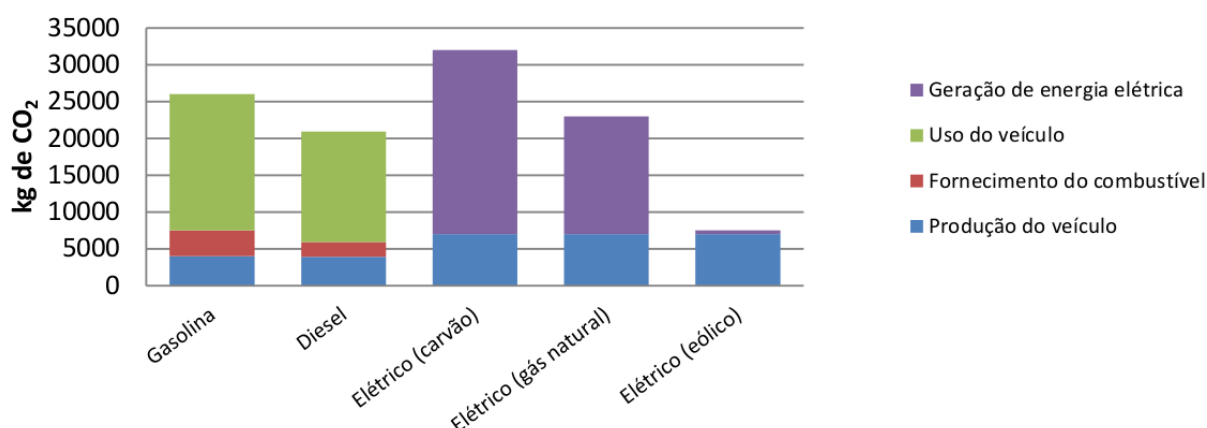


Figura 1 – Emissão de poluentes no ciclo de vida de para diferentes motorizações (adaptado de⁽¹⁰⁾)

Em relação ao ponto de vista técnico-econômico os motores elétricos apresentam uma maior eficiência do que os motores de combustão interna⁽¹⁰⁾.

Acredita-se que os veículos elétricos ainda são opções “não competitivas economicamente” visto que o preço e durabilidade da bateria são os principais responsáveis pelo maior custo dos veículos elétricos⁽¹¹⁾.

Para analisar as diversas variáveis relacionadas à escolha da motorização mais sustentável é necessária a aplicação de um método de tomada de decisão multicritério. O apoio multicritério à decisão pode ser visto como “um conjunto de métodos que se prestam a tornar claro um problema, no qual as alternativas são avaliadas por multicritérios, os quais são conflitantes, na maioria dos casos”⁽¹²⁾. Assim, sua aplicação visa elucidar claramente o problema e buscar a solução dentre um conjunto de alternativas. Com base nesta definição optou-se neste trabalho pelo método de tomada de decisão PROMETHEE. O método PROMETHEE foi criado em 1982 e desde então é largamente utilizado para tomada de decisão onde se tenham

múltiplas alternativas em razão de ser de fácil entendimento de modo que os parâmetros envolvidos em sua aplicação tem algum significado físico ou econômico de rápida assimilação pelo decisor (aquele que toma a decisão)⁽¹²⁾. A flexibilidade do processo de comparação e transparência nos resultados apresentam-se como fatores a escolha do método PROMETHEE para situações que envolvam a tomada de decisão⁽¹³⁾.

O PROMETHEE (Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations) é baseado na construção de uma relação de subordinação, ou sobre classificação (outranking)⁽¹³⁾, entre critérios definidos por um tomador de decisão, consistindo na subsequente estruturação de uma relação de superação entre as alternativas. Sua implementação resume-se à definição dos critérios que vão ser avaliados para a tomada de decisão, verificação dos pesos que o ator responsável pela decisão dará para cada um dos critérios a serem avaliados e avaliação das alternativas por meio de um ranking gerado por um software.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para o cumprimento do objetivo geral proposto neste trabalho quatro etapas foram seguidas. Assim, primeiramente foram escolhidos os veículos (alternativas) que seriam comparados neste estudo. Em seguida, os critérios de avaliação foram definidos e ponderados. Por fim, aplicou-se o método de tomada de decisão para cumprimento do objetivo principal.

(1) Escolha das alternativas: Para a escolha das alternativas foi realizada uma busca em revistas especializadas em automóveis para verificação dos veículos pertencentes à mesma categoria para uma maior confiabilidade dos resultados. Além disto, cada tipo de motorização possui ao menos dois veículos como representantes para deixar visível as possíveis diferenças existentes em veículos de categorias semelhantes, mas de diferentes montadoras. Para analisar as diferenças existentes entre veículos com motores de combustão interna movidos à gasolina e movidos à etanol, optou-se por utilizar o mesmo modelo de automóvel, porém, analisando-os separadamente conforme seu combustível.

(2) Definição dos critérios: A definição dos critérios para a comparação das diferentes motorizações baseou-se na ideia de que cada um deles deveria englobar ao menos uma característica de caráter sustentável. Também foi levado em consideração que, para este estudo, os critérios deveriam ser indicadores de fácil compreensão e de relativa importância no momento em que qualquer indivíduo fosse realizar a compra de um novo veículo. Além disto, também existiu uma preocupação para que fossem definidos ao menos dois critérios para cada um dos aspectos sustentáveis (ambiental, técnico e econômico) para uma maior imparcialidade nos resultados.

(3) Ponderação dos dados: O grau de importância dos dados levantados foi apontado utilizando-se das opções pessoais de diferentes pessoas compiladas por meio de um formulário criado com o auxílio da ferramenta Google Forms enviada, via e-mail e Facebook para noventa pessoas. Nesta pesquisa, o objetivo foi entender a importância que cada atributo teria para o indivíduo no momento da compra de um novo automóvel. O modelo de ponderação aplicado para a determinação dos pesos de cada critério foi a Escala de Diferencial Semântico⁽¹⁴⁾ por ser de fácil compreensão e execução por parte do entrevistado. As respostas obtidas por meio dos formulários

de pesquisa foram, então, consolidadas em uma tabela, sinalizando a devida pontuação total de cada atributo. Por fim, foi realizado o cálculo de média simples para definição final do peso de cada atributo. Além dos atributos contidos no formulário de pesquisa, foi adicionado, também, o critério segurança. Pela importância deste critério definiu-se que o peso deste seria de 4 pontos.

(4) Aplicação do método de tomada de decisão: Os primeiros parâmetros colocados no software PROMETHEE são os critérios definidos para o estudo (1). Em seguida é preciso adicionar o peso relacionado a cada critério (2) e a listagem das alternativas que devem ser comparados no método (3). Além disto, para rodar o software, são necessários os valores de cada uma das alternativas correspondentes a cada um dos critérios. Estes valores foram buscados nos sites das montadoras dos veículos, revistas especializadas em automóveis e sites voltados à testes de automóveis. Após a alimentação do sistema com todos estes dados o mesmo gera a classificação das alternativas por ordem de preferência. Algumas análises adicionais foram realizadas neste estudo com o auxílio de ferramentas presentes no software, tais como: análise de sensibilidade, análise de perfil dos critérios e simulador de ponderação.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Escolha das Alternativas

Os primeiros automóveis definidos como alvos das comparações deste estudo foram o Nissan Leaf e o Toyota Prius, pois ambos são os mais vendidos em suas categorias: elétricos e híbridos, respectivamente. Além destes, optou-se por adicionar mais um veículo de cada categoria: BMW i3 (elétricos) e Ford Fusion Hybrid (híbrido). Para a categoria da motorização de combustão interna foram escolhidos veículos de categoria semelhante aos já citados, que oferecessem quantidade parecida de tecnologia, conforto e adicionais multimídia para que exista uma equiparação no momento da análise. Assim, foram escolhidos automóveis de quatro marcas diferentes, concorrentes entre si, de modo que cada um seja avaliado utilizando somente gasolina ou etanol como forma de combustível: Ford (Focus Titanium 2.0), General Motors (Cruze LTZ2), Volkswagen (Golf Highline 1.4 TSI) e Honda (Civic 10 EXL).

3.2 Escolha dos Critérios

A partir do referencial teórico pesquisado foram identificados alguns atributos pertinentes aos automóveis que, não só podem ter importância para o consumidor, mas também podem ser utilizados para uma análise de sustentabilidade entre diferentes veículos. Tais atributos foram divididos em três grupos: econômico (preço de venda, custo de manutenção, custo do combustível e valor do seguro), ambiental (emissão de poluentes durante o uso e emissão de ruídos) e técnico (potência do motor, consumo de combustível, autonomia e segurança).

Com exceção do atributo segurança todos os outros são indicadores de natureza quantitativa. Outros itens tais como conforto, multimídia, adicionais, etc. não foram abordados neste estudo. Quanto ao atributo segurança, apesar de ser um dado qualitativo, a forma como ele é utilizado no software de tomada de decisão é de natureza quantitativa, seguindo os resultados de *crash test* realizados de forma padronizada para todos os veículos⁽¹⁵⁾.

Os detalhes de cada critério e explicação das premissas utilizadas para este

trabalho são apresentados conforme segue:

Preço de venda: considerado o valor de venda do modelo 2017, versão intermediária, conforme os sites das montadoras. Para os veículos BMW i3 e Volkswagen Golf foram considerados os últimos modelos disponíveis (2015 e 2016 respectivamente), visto que ainda não possuem modelo 2017 disponíveis no mercado. Além disto, em função do automóvel Nissan Leaf ainda não estar à venda no Brasil, foi considerado o valor estimado para importação⁽¹⁶⁾.

Custo da manutenção: para determinar o custo de manutenção dos veículos, pressupôs-se um tempo estimado de uso de três anos, ou 30.000 km rodados. Assim, considerou-se como o custo de manutenção a soma dos valores das revisões de 10.000, 20.000 e 30.000 km. Para os veículos elétricos e híbridos foi considerado, também, o valor da bateria no cálculo do custo de manutenção. O preço estimado de uma bateria nova é de R\$ 10.000,00 tendo uma vida útil presumida de 10 anos. Desta forma, para estes tipos de motorizações, além dos valores das revisões, foi considerado um valor de R\$3.000,00 a mais no custo de manutenção devido ao valor da bateria elétrica. Para equiparar as premissas para o cálculo do custo de manutenção das diferentes motorizações, foi considerado para os veículos à gasolina e etanol, durante os três anos de uso, a compra de uma bateria nova de 48 Amperes sendo este valor somado ao valor das revisões para os veículos com estas motorizações para estimativa do custo de manutenção.

O valor das revisões periódicas para os veículos BMW i3 e Nissan Leaf não foram encontrados durante o levantamento de dados deste trabalho. Desta forma, para o Nissan Leaf foi estimado o valor das revisões como sendo o mesmo do aplicado para o Nissan Sentra, veículo de mesma categoria, top de linha acrescido do valor de R\$ 3.000,00 referente à bateria elétrica. Para o automóvel BMW i3 o valor das revisões periódicas tanto deste veículo, quanto para os demais veículos da BMW não são públicos. Para completar os dados deste veículo, buscou-se com um dono de um automóvel BMW 320i os valores que o mesmo pagou para a manutenção periódica na rede autorizada da fabricante. Os mesmos valores para as três primeiras revisões do BMW 320i foram, então, somados com os R\$ 3.000,00 referentes a bateria elétrica e aplicados neste estudo para o BMW i3.

Custo do combustível: o custo do combustível foi definido conforme o tipo de motorização do veículo. Para os automóveis com motor elétrico o custo do combustível é equivalente ao valor da tarifa cobrada pela concessionária pelo kWh somado com o valor das alíquotas dos impostos (ICMS, PIS e COFINS) cobradas no mês vigente. Neste trabalho foi considerado a tarifa de energia elétrica para rede residencial convencional, na cidade de Porto Alegre, para o mês de abril/2017. Assim, o valor da tarifa elétrica foi definido como sendo R\$ 0,397 tendo, sobre este valor, uma incidência de 30% referente ao ICMS e 3,44% referente ao PIS+COFINS. O valor total estimado para o kWh, portanto, é de, aproximadamente, R\$ 0,53⁽¹⁷⁾.

Para os veículos híbridos foi considerado o custo do combustível como sendo o valor pelo litro da gasolina. Apesar destes automóveis contarem com uma bateria elétrica para o fornecimento de energia para baixas velocidades, estimou-se que o carregamento da bateria ocorre somente pela ação da tecnologia de regeneração na utilização dos freios, tendo como único impacto de custo o uso da gasolina para abastecimento do tanque convencional. Assim, o custo do litro de gasolina para as motorizações híbrida e gasolina foi definido como sendo de R\$ 3,723 conforme e para o etanol como R\$ 3,56, média registrada na cidade de Porto Alegre na primeira

semana de maio, de 2017⁽¹⁸⁾.

Valor do seguro: os valores utilizados neste estudo foram baseados em um condutor do seguinte perfil: solteiro, 25 anos, que trafega em média 45 km diariamente em um trajeto residência-trabalho, deixando o veículo em estacionamentos com porteiro ou portão eletrônico e que seja o único condutor e dono do veículo. Foi considerada a opção com máxima proteção e cobertura de 110% o valor da Tabela FIPE. Unidade de medida: Reais (R\$)⁽¹⁹⁾.

O valor do seguro dos veículos Nissan Leaf e Ford Fusion Hybrid não pôde ser obtido na mesma fonte utilizada para os outros veículos em função do preço elevado destes veículos. Foi considerado, então, para estes veículos, a mesma proporção encontrada para o Toyota Prius entre o valor do seguro e o preço de venda do automóvel. Desta forma entendeu-se que todos os veículos teriam uma mesma base de custos fazendo com que os resultados tenham um considerável nível de confiabilidade.

A Tabela 1 apresenta os valores encontrados para os critérios associados à entrada economia.

Tabela 1 - Valores de entrada econômicos

Alternativas				Critérios Econômicos			
Montadora	Modelo	Tipo de Combustível	Ano	Preço de venda	Custo de manutenção	Custo do combustível	Valor do seguro
Nissan	Leaf	Elétrico	2017	R\$ 195.000,00	R\$ 4.139,00	R\$ 0,530	R\$ 21.736,64
Toyota	Prius	Híbrido	2017	R\$ 119.950,00	R\$ 4.004,20	R\$ 3,723	R\$ 13.370,82
Ford	Fusion	Híbrido	2017	R\$ 159.500,00	R\$ 4.636,00	R\$ 3,723	R\$ 17.779,45
BMW	i3 Bev	Elétrico	2015	R\$ 159.950,00	R\$ 8.800,00	R\$ 0,530	R\$ 24.815,34
Ford	Focus Titanium 2.0	Gasolina	2017	R\$ 104.900,00	R\$ 1.955,00	R\$ 0,530	R\$ 16.463,94
GM	Cruze LTZ2	Gasolina	2017	R\$ 107.450,00	R\$ 1.583,00	R\$ 3,723	R\$ 9.864,00
Volkswagen	Golf Highline 1.4 TSI	Gasolina	2016	R\$ 96.690,00	R\$ 1.730,00	R\$ 3,723	R\$ 10.839,94
Honda	Civic 10 EXL	Gasolina	2017	R\$ 105.900,00	R\$ 1.218,00	R\$ 3,723	R\$ 10.289,26
Ford	Focus Titanium 2.0	Etanol	2017	R\$ 104.900,00	R\$ 1.955,00	R\$ 3,723	R\$ 16.463,94
GM	Cruze LTZ2	Etanol	2017	R\$ 107.450,00	R\$ 1.583,00	R\$ 3,563	R\$ 9.864,00
Volkswagen	Golf Highline 1.4 TSI	Etanol	2016	R\$ 96.690,00	R\$ 1.730,00	R\$ 3,563	R\$ 10.839,94
Honda	Civic 10 EXL	Etanol	2017	R\$ 105.900,00	R\$ 1.218,00	R\$ 3,563	R\$ 10.289,26

Emissões durante uso: são os valores estimados de emissão de CO₂ através do escapamento dos automóveis nos Estados Unidos. Nesta base de dados, porém, o único veículo testado utilizando-se somente de etanol como fonte de combustível foi o Ford Focus. Assim, para determinar o nível de emissões de CO₂ dos outros veículos utilizando etanol, foi considerada a mesma proporção entre as emissões com gasolina e etanol utilizada no Focus. Unidade de medida: gramas por quilômetros (g/km)⁽²⁰⁾.

Emissão de ruídos: nível de ruído estimado conforme testes de especialistas com os veículos em potência máxima (*full throttle*)⁽²¹⁾. Unidade de medida: decibéis (dBA)

Potência do motor: valores levantados conforme modelo e versão de cada veículo. A potência dos veículos elétricos pode ser mensurada pela capacidade da bateria elétrica, medida em quilowatt (kW). Para parametrizar as unidades de medida para todos os veículos, os valores encontrados em kW foram convertidos para unidade de medida cavalos (cv). Para os veículos híbridos, onde existe uma combinação da potência fornecida por bateria elétrica e a fornecida pelo motor de combustão interna, utilizou-se o valor médio, em cavalos, estabelecido pelas próprias montadoras.

Consumo de combustível: para o consumo de combustível de cada veículo

foram levantados os dados para tráfego em circuito urbano e tráfego em estradas rápidas. Em função do consumo entre todos os veículos ser diferente para cada tipo de estrada, foram considerados os dois cenários neste estudo. Além disso, os consumos dos veículos elétricos são usualmente medidos em kWh/100mi ou MPGe. A unidade MPGe (miles per gallon equivalent) foi criada para comparação do consumo com veículos tradicionais e é aplicada considerando que um galão (3,79 litros) de gasolina é equivalente a 33,7 kWh de energia. Para este estudo é utilizado, portanto, o valor de MPGe convertido para km/l tanto na cidade quanto na estrada⁽²⁰⁾.

Autonomia: os dados de autonomia dos veículos foram buscados nos sites das próprias montadoras. Para os casos onde a autonomia não estava disponível para consulta a mesma foi calculada utilizando-se dos dados de consumo do automóvel e tamanho do tanque de combustível.

Segurança: também foram considerados, neste estudo, atributos de segurança de cada veículo, obtidos por meio de testes de colisão (*crash tests*) realizados pelo IIHS (*Insurance Institute for Highway Safety*), organização de pesquisa dos Estados Unidos dedicada a diminuição de mortes causadas no trânsito. O instituto avalia cada veículo em dois aspectos de segurança: *crashworthiness* (resistência ao choque) e *crash avoidance and mitigation* (tecnologia para prevenção de colisão)⁽¹⁵⁾. Neste trabalho, o aspecto *crashworthiness* foi definido como o critério segurança, visto que o mesmo é avaliado a partir de diferentes testes de choque que o veículo sofre para verificação de sua capacidade de manter o motorista e os passageiros salvos em caso de acidentes.

A Tabela 2 apresenta os valores encontrados para os critérios associados às entradas ambiental e técnica.

Tabela 2 - Valores de entrada ambientais e técnicos

Alternativas		Critérios Ambientais		Critérios Técnicos			Segurança	
Modelo	Tipo de combustível	Emissão Poluentes (gram/km)	Emissão ruídos (dBA)	Potência motor (cv)	Consumo cidade (km/L)	Consumo estrada (km/L)		Autonomia (km)
Leaf	Elétrico	0	67,7	109	52,72	42,94	172	3,17
Prius	Híbrido	107	73,4	123	24,66	22,53	812	4,00
Fusion	Híbrido	70	80,7	190	16,8	15,3	980	3,67
I3 BeV	Elétrico	0	65,2	170	58,24	47,19	130	3,67
Focus Titanium 2.0	Gasolina	189	82	175	9,9	13	630	3,67
Cruze LTZ2	Gasolina	174	77	150	11,2	14	655	3,50
Golf Highline 1.4 TSI	Gasolina	193	75	150	12,3	15,9	705	3,83
Civic 10 EXL	Gasolina	121	80	155	12	14,6	745	3,83
Focus Titanium 2.0	Etanol	182	82	178	6,5	8,6	415	3,67
Cruze LTZ2	Etanol	167	77	153	7,6	9,6	447	3,50
Golf Highline 1.4 TSI	Etanol	186	75	150	11,7	14,9	665	3,83
Civic 10 EXL	Etanol	155	80	155	7,2	8,9	451	3,83

Para a avaliação do nível de segurança os veículos são pontuados como *good* (bom – 4 pontos), *acceptable* (aceitável – 3 pontos), *marginal* (regular – 2 pontos) ou *poor* (fraco – 1 ponto), baseando-se em suas performances em cinco testes: colisão frontal moderada, colisão frontal pequena, colisão lateral, resistência do teto e encostos de cabeça. Além destas avaliações, os veículos também são classificados da mesma maneira quanto à facilidade de instalação das cadeiras de transporte infantil no banco traseiro. O valor do atributo segurança para cada veículo foi definido, portanto, como a média das pontuações obtidas nos seis aspectos avaliados⁽¹⁵⁾.

3.3 Ponderação dos Critérios

As noventa respostas obtidas com o formulário foram consolidadas em uma tabela de modo a definir o peso de cada atributo, por meio da média de pontuação atingida por cada um. A Tabela 3 ilustra a base de dados alcançada após a pesquisa, contendo o número de respostas que cada nível de importância obteve para cada atributo. O atributo segurança não foi colocado no formulário de pesquisa, porém, em função do mesmo ser um item crítico no momento de escolher um veículo, e por acreditar que seja um dos itens mais importantes ao avaliar um novo automóvel, decidiu-se por utilizar o peso máximo (quatro) para este quesito.

Tabela 3 – Definição do peso de cada atributo

Atributos	Não é importante	Pouco importante	Importante	Muito importante	Pontuação total	Média
	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Peso 4		
Segurança	-	-	-	-	-	4,000
Consumo de combustível	1	8	33	48	308	3,422
Preço de venda	0	8	38	44	306	3,400
Valor do seguro	1	15	47	27	280	3,111
Custo de manutenção	1	25	30	34	277	3,078
Autonomia	3	13	48	26	277	3,078
Potência do motor	3	18	47	22	268	2,978
Custo do combustível	8	23	29	30	261	2,900
Emissão de ruído	11	20	35	24	252	2,800
Emissões durante uso	14	22	38	16	236	2,622
Custo para produção	31	41	15	3	170	1,889

3.4 Aplicação do método de tomada de decisão

Após a definição dos veículos (alternativas) que seriam avaliados neste estudo, levantamento dos dados (atributos) pertinentes a cada um e estabelecimento dos pesos de cada critério baseando-se na pesquisa realizada, se deu a migração destas informações para o software de tomada de decisão PROMETHEE conforme segue:

Passo 1 – Organizar a hierarquia dos atributos em 3 níveis: *clusters*, grupos e critérios, utilizando o assistente de hierarquização do software. Para o nível mais alto do ranking hierárquico foram criados 3 *clusters* (técnico, econômico e ambiental) conforme a natureza dos critérios escolhidos para avaliação dos veículos. Abaixo dos *clusters* foram definidos os grupos de critérios e, por fim, foram organizados os critérios em cada grupo. A Tabela 4 ilustra como foi realizada a organização dos atributos.

Tabela 4 - Organização dos atributos de forma hierárquica

Clusters	Grupo de Critérios	Critérios
Técnico	Segurança	Segurança
	Desempenho	Potência motor
		Consumo cidade
		Consumo estrada
		Autonomia
Econômico	Custos	Preço de venda
		Custo manutenção
		Custo combustível
		Valor do seguro
Ambiental	Emissões	Emissão de poluentes
		Emissão de ruídos

Passo 2 – Definir um peso w para cada critério que aumenta com a importância do atributo. Para isto, foram utilizados no software os pesos encontrados conforme

Tabela 3. O item “custo de produção” ficou de fora deste estudo em função da baixa importância dada a este atributo durante a pesquisa.

Passo 3 – Definir para cada critério se o mesmo deve ser maximizado ou minimizado. Este é um importante passo, pois fica determinado que não serão comparados os valores brutos de cada critério. Desta forma não haverá compensação entre altos e pequenos valores, como ocorreria no uso de médias aritméticas, por exemplo.

Passo 4 – Definir a função de preferência que melhor atende cada critério. Para isto o próprio software possui um sistema de passo a passo onde algumas questões são respondidas e, com base nas respostas, o sistema sugere a melhor curva de função que se adequa para aquele critério. Para este estudo, a função de preferência que melhor se aplica para todos os atributos é a V-shape em função de ser a melhor opção para dados quantitativos onde até mesmo pequenas variações precisam ser contabilizadas.

Passo 5 – Definir se o valor atribuído para cada critério será o valor absoluto ou um valor percentual. Para este estudo todos os valores são considerados absolutos

Passo 6 – Inclusão dos automóveis alvos de comparação deste estudo no campo de “alternativas” do software. São comparados, ao total, doze veículos. Para cada veículo são atribuídos os valores para cada um dos critérios de avaliação. Assim têm-se todos os valores necessários de entrada para a tomada de decisão por meio do software.

3.5 Resultados obtidos com o método PROMETHEE

O emprego do software PROMETHEE revelou uma preferência pelo veículo Honda Civic com motorização à gasolina, seguido pelo Volkswagen Golf à gasolina e, por terceiro, o Golf movido à etanol. A classificação dos veículos é exibida na Tabela 5 em ordem de preferência com os resultados obtidos por meio do método de tomada de decisão, PROMETHEE II.

Tabela 5 – Classificação das alternativas por ordem de preferência

Alternativas		Resultado obtido no método PROMETHEE II
Veículo	Motorização	
Honda Civic	Gasolina	0,2546
Volkswagen Golf	Gasolina	0,1556
Volkswagen Golf	Etanol	0,1385
Toyota Prius	Híbrido	0,1197
BMW i3	Elétrico	0,1133
Fusion Hybrid	Híbrido	0,0271
GM Cruze	Gasolina	-0,0067
Nissan Leaf	Elétrico	-0,0461
Honda Civic	Etanol	-0,0601
GM Cruze	Etanol	-0,1514
Ford Focus	Gasolina	-0,1942
Ford Focus	Etanol	-0,3828

Analisando de forma mais específica os resultados obtidos para os três primeiros veículos do ranking é possível perceber que estes se destacam, principalmente, pelos melhores valores nos atributos econômicos e técnicos.

O Honda Civic, opção com maior preferência, se destaca pelo ganho no custo

de manutenção, valor do seguro, potência do motor e autonomia. O veículo Volkswagen Golf, tanto com motorização à gasolina quanto com motorização à etanol, ocupam a segunda e terceira posição do ranking em função do melhor preço venda entre as opções analisadas neste estudo. Em relação à diferenciação do Golf entre as motorizações, ela ocorre pelo melhor consumo na estrada e maior autonomia utilizando gasolina como combustível ao invés de etanol.

O Honda Civic é o automóvel com o menor nível de emissão de poluentes dentre as opções com motorização convencional, enquanto que o Golf se destaca pelos baixos níveis de ruídos emitidos em trânsito. Isto é, são automóveis que possuem, em média, valores aceitáveis tanto em aspectos econômicos quanto em aspectos técnicos e ambientais.

Além do Honda Civic e do Volkswagen Golf outros três veículos tiveram pontuação acima de zero no PROMETHEE II: Toyota Prius, BMW i3 e Fusion Hybrid que ocupam a quarta, quinta e sexta posição no ranking de classificação das alternativas, respectivamente. É importante destacar a análise específica dos resultados obtidos para estes veículos por terem motorizações diferentes da tradicional combustão interna.

Estas três alternativas apresentam grande vantagem nos critérios ambientais em função de suas motorizações. Além disto, em aspectos técnicos também não deixam a desejar em função da melhor eficiência energética dos motores elétricos e híbridos, proporcionando menores consumos de combustível. No entanto, não demonstram vantagem nos critérios econômicos, principalmente pelos preços de venda elevados, mas também pelo custo de manutenção impactado pelo custo adicional da bateria elétrica, fazendo com que se tornem opções menos atrativas no PROMETHEE II frente aos outros veículos.

3.6 Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade tem por objetivo averiguar o impacto que os pesos estabelecidos para cada critério têm na classificação das alternativas e, também, avaliar como as alternativas são afetadas pela mudança destes pesos. A partir desta análise é possível categorizar, também, os critérios como sendo de dominância absoluta ou dominância relativa.

Os critérios de dominância absoluta são aqueles onde quaisquer variações de seus pesos, independentemente do valor, não resultará na alteração da classificação das alternativas. Já os critérios de dominância relativa são aqueles onde a alteração de seus pesos traz mudanças nos resultados obtidos.

Neste trabalho, todos os onze critérios avaliados são de dominância relativa, conforme segue:

- Preço de venda (peso utilizado 10,21%) – caso o peso estipulado deste critério fosse de 20,58% a melhor alternativa para este critério seria alterada
- Custo de manutenção (peso utilizado 9,2%) – caso o peso estipulado deste critério fosse de 1,56% a melhor alternativa para este critério seria alterada
- Custo do combustível (peso utilizado 8,7%) - caso o peso estipulado deste critério fosse de 18,60% a melhor alternativa para este critério seria alterada
- Valor do seguro (peso utilizado 9,3%) - caso o peso estipulado deste critério fosse de 47,02% a melhor alternativa para este critério seria alterada

- Emissão de poluentes (peso utilizado 7,8%) - caso o peso estipulado deste critério fosse de 24,33% a melhor alternativa para este critério seria alterada
- Emissão de ruídos (peso utilizado 8,4%) - caso o peso estipulado deste critério fosse de 16,35% a melhor alternativa para este critério seria alterada
- Potência do motor (peso utilizado 8,9%) - caso o peso estipulado deste critério fosse de 0,34% a melhor alternativa para este critério seria alterada
- Consumo de combustível (peso utilizado 10,28%) - caso o peso estipulado deste critério fosse de 21,36% a melhor alternativa para este critério seria alterada
- Autonomia (peso utilizado 9,2%) - caso o peso estipulado deste critério fosse de 0,23% a melhor alternativa para este critério seria alterada

Na pesquisa realizada para determinação dos pesos dos critérios foi questionado, também, quantos km, em média, cada pessoa trafega diariamente. Foi visto que 81% das pessoas trafega até 40km diariamente. Esta informação vai ao encontro do resultado encontrado em ⁽²²⁾ que indica que os automóveis rodam, em média, 41km por dia. Nesta condição, qualquer veículo avaliado neste estudo atenderia à necessidade do condutor diariamente.

Desta forma, foi analisado se haveria alguma alteração nos resultados para o caso de o critério autonomia receber pontuação zero, visto que, nesta situação de trafegar apenas 40km por dia, a autonomia não seria um fator decisivo na compra de um veículo. A classificação das alternativas sofreria alterações tendo o BMW i3 como a melhor opção de automóvel, seguido do Honda Civic e do Volkswagen Golf (gasolina e etanol, respectivamente)

Segurança (peso utilizado 12,02%) - caso o peso estipulado deste critério fosse de 63,95% a melhor alternativa para este critério seria alterada. É possível perceber que na análise da segurança todos os veículos estão muito próximos no ranking. Isto demonstra que, apesar deste critério ter recebido o maior peso, em razão das alternativas terem pontuação semelhante, esta característica não possui grande impacto na classificação geral dos veículos.

4 CONCLUSÃO

A definição dos critérios abordados para cada veículo conseguiu englobar as principais diferenças existentes entre os motores de combustão interna, elétricos e híbridos. A abordagem desta diferenciação entre motorizações ficou menos complicada a partir do momento em que se encontrou, majoritariamente, indicadores quantitativos para a realização da análise.

Por meio da pesquisa utilizada para definir os pesos de cada atributo, foi possível perceber as prioridades que cada indivíduo possui no momento de compra de um novo veículo. A pesquisa mostrou que os critérios mais importantes para o consumidor, em média, ainda são os critérios de natureza econômica. Os critérios de aspecto técnico também se destacam, principalmente o consumo de combustível e autonomia que acabam tendo conexão direta com o fator econômico. Além disto, por intermédio da pesquisa, foi descoberto que as pessoas, em média, não estão ainda preocupadas com o impacto ambiental gerados pelos automóveis. Os dois critérios com menor pontuação são justamente os ambientais: emissão de poluentes e emissão de ruídos. Analisando apenas estes dois critérios, a emissão de ruídos

obteve peso maior do que a emissão de poluentes, provavelmente por uma preocupação maior das pessoas com o incômodo do ruído dentro do automóvel. Já a emissão de poluentes, que tem impacto danoso significativo no aquecimento global ficou com o menor peso dentre todos os critérios. Em relação ao critério segurança, mesmo que tenha recebido o maior peso dentre os critérios (quatro pontos), durante a determinação das pontuações das alternativas, foi possível notar que, apesar do Toyota Prius ter sido o único a atingir pontuação máxima, isto não lhe concedeu grande vantagem frente aos demais no ranking em razão de todos os veículos terem alcançado pontuações altas, próximas de quatro.

Com a utilização do método de tomada de decisão PROMETHEE II chegou-se à classificação das melhores alternativas (veículos) na comparação de motorizações seguindo critérios ambientais, técnicos e econômicos. A alternativa de maior preferência foi o Honda Civic à gasolina seguido do Volkswagen Golf à gasolina e, em terceiro, Volkswagen Golf movido à etanol.

REFERÊNCIAS

- 1 International Organization of Motor Vehicle Manufacturers (OICA). Vehicles in use. 2008. [Online]. Disponível em: <<http://www.oica.net>>. Acesso em 10/08/2018.
- 2 GERMAN, J. Hybrid-Powered Vehicles. Warrendale: SAE Internacional. 2011.
- 3 Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN). Frota Nacional de Veículos. 2015[Online]. Disponível em: <www.denatran.gov.br>. Acessado em: 10/08/2018.
- 4 TEIXEIRA, E. C, FELTES, S., SANTANA, E. R. R. Estudo das Emissões de Fontes Móveis na Região Metropolitana de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. Quim Nova, Vol. 31, No. 2, 244-248, 2008
- 5 OLIVEIRA, J. O que falta para o carro elétrico pegar? Revista Galileu. Brasil, 2013 [Online]. Disponível em: <www.revistagalileu.globo.com>. Acesso em: 10/08/2018. 2016.
- 6 Wang, M; Saricks, C ; Santini, D. Effects of fuel ethanol use on fuel-cycle energy and greenhouse gas emissions. Argonne National Laboratory. the TRIS and ITRD database. 1999.
- 7 LEWIS, T. Electric vs. Fuel Cell Vehicles: 'Green' Auto Tech Explained. EUA, 2015. [Online]. Disponível em: <www.livescience.com> Acesso em: 10/08/2018.
- 8 LEWIS, T. Electric vs. Fuel Cell Vehicles: 'Green' Auto Tech Explained. EUA, 2015. [Online]. Disponível em: <www.livescience.com> Acesso em: 10/08/2018.
- 9 EHSANI, M., GAO, Y., GAY, S., AND EMADI, A. Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles. Florida: CRC Press. 2010.
- 10 HELMS, H. et al. Electric vehicle and plug-in hybrid energy efficiency and life cycle emissions. 18th International Symposium Transport and Air Pollution, Session, v. 3, p. 113, 2010.
- 11 VAN VLIET, O. et al. Energy use, cost and CO2 emissions of electric cars. Journal of Power Sources, v. 196, n. 4, p. 2298–2310, fev. 2011.
- 12 CAVALCANTE, C. A. V.; ALMEIDA, A. T. DE. Modelo multicritério de apoio a decisão para o planejamento de manutenção preventiva utilizando PROMETHEE II em situações de incerteza. Pesquisa Operacional, v. 25, n. 2, p. 279–296, 2005.
- 13 PEREIRA, S. L. P.; GOMES, L. F. A. M. Análise multicritério na indústria de peças automotivas : um estudo de caso. p. 1–14, 2004.

- 14 OSGOOD, C., SUCI, G., TANNENBAUM, P., 1976. El diferencial semântico como instrumento de medida. Escalas de medición em ciencias sociales. Buenos Aires, Nueva Visión.
- 15 Insurance Institute for Highway Safety (IIHS). Arlington, EUA. 2017. [Online]. Disponível em: < <http://www.iihs.org/>>. Acesso em: 02/05/2017.
- 16 Belog Brasil, Importe Seu Veículo. 2017. Porto Alegre, RS. [Online]. Disponível em: <<http://www.importeseuveiculo.com.br/tabelas/nissan.pdf>>. Acessado em: 02/05/2017.
- 17 Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE). 2017. Porto Alegre, RS. [Online]. Disponível em: <<http://www.ceee.com.br>>. Acessado em: 25/04/2017.
- 18 Agência Nacional do Petróleo (ANP) 2017. Disponível em: <<http://anp.gov.br/preco>>. Acessado em: 25/04/2017/
- 19 Webmotors. Simulador de Seguro. [Online]. Disponível em: <<http://seguro.webmotors.com.br/seguro-auto>>. Acesso em: 16/04/2017.
- 20 United States Environmental Protection Agency (EPA). Washington, DC. EUA. 2017. [Online]. Disponível em < <https://www.epa.gov/>>. Acessado em: 02/05/2017
- 21 Departamento de Infraestrutura e Desenvolvimento Regional. Vehicle noise. 2015. [Online]. Disponível em: <<https://infrastructure.gov.au/roads/environment/noise.aspx>>. Acesso em 16/04/2017.
- 22 Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Curvas de intensidade de uso por tipo de veículo automotor da frota da cidade de São Paulo. São Paulo. 2014.

ABORDAGEM SOBRE LEIS PERTINENTES AOS RESÍDUOS SÓLIDOS DE SERVIÇO DA SAÚDE (RSS) E INCINERAÇÃO

Piovezan, A. A.¹
Teston, A. G.²
Rodrigues, A. C.³
Tubino, R. M. C.⁴

¹ Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais PPGE3M, Andressa Aparecida Piovezan, Universidade Federal do Rio Grande do Sul e andressapiovezan@hotmail.com.

² Engenheiro Ambiental e Sanitarista, Augusto Grandaux Teston, Universidade Federal de Santa Maria e teston.augusto@gmail.com.

³ Prof. Dr. na Universidade Federal de Santa Maria/Campus Frederico Westphalen, Alexandre Couto Rodrigues e alexandrecoutorodrigues@gmail.com.

⁴ Prof. Dra. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais- PPGE3M/UFRG, Rejane Maria Candiota Tubino e rejane.tubino@ufrgs.br.

Resumo

O Objetivo do presente artigo é relatar as leis pertinentes aos deveres dos geradores de Resíduos Sólidos de Serviço da Saúde (RSS), ressaltando o método de incineração como disposição ambientalmente adequada para esses resíduos, que por sua vez, a adoção desse sistema pode gerar energia. A metodologia adotada foi uma revisão Sistemática e Integrativa de revisão. Os resultados apresentados são leis brasileiras que abordam sobre esse tipo de resíduos e como conclusão se salienta que leis existem e que por sinal, são muito bem definidas na teoria, cabendo na prática cada gerador satisfazer seus deveres, pois a disposição inadequada desses resíduos afeta direta e indiretamente a população, fauna, flora, dentre outros, ainda é citado fatores abrangendo as vantagens e desvantagens do processo de incineração.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos da Saúde; Incineração; Legislação.

APPROACH ON LAWS RELEVANT TO SOLID WASTE FROM HEALTH SERVICES AND INCINERATION

Abstract

The objective of this article is to report the laws related to the duties of generators of Solid Waste Health Service (RSS), emphasizing the method of incineration as an environmentally adequate disposal for that waste, which in turn, the adoption of this system can generate energy. The methodology adopted was a Systematic and Integrative review of the review. The results presented are Brazilian laws that deal with this type of waste and as a conclusion it is pointed out that laws exist and that, by the way, they are very well defined in theory, it is up to each generator to satisfy its duties, since the inadequate disposition of these residues affects direct and indirectly the population, fauna, flora, among others, factors are still cited covering the advantages and disadvantages of the incineration process.

Key words: Solid Health Wastes; Incineration; Legislation.

1 INTRODUÇÃO

Com o acelerado crescimento populacional, o volume de resíduos produzidos é cada vez maior (ZÔMPERO, 2009). ⁽¹⁾ Verifica-se que há necessidade urgente de uma disposição final adequada para os resíduos que não podem ser reaproveitados, onde muitos desses resíduos necessitam de um tratamento específico.

Juntamente a todos esses resíduos produzidos pela sociedade aparece um tipo especial de resíduo, que são aqueles gerados nas áreas da saúde, nas atividades diárias em prol do atendimento e tratamento designado à população. Esses resíduos são potencialmente perigosos quando não tiverem sua disposição ambientalmente adequada, sendo eles: os Resíduos Sólidos dos Serviços da Saúde (RSS) que são considerados um dos focos de um grande problema de qualidade ambiental no Brasil.

O grande aumento na geração desses resíduos causam impactos sobre os recursos naturais, com isso buscam-se formas alternativas para reutilizá-los e uma delas é a geração de energia através de sua incineração (LIMA, 2009). ⁽²⁾

A expectativa de vida do brasileiro também é um fator que influencia na geração de RSS, porém com o uso de tecnologias avançadas, o processo do descarte ambiental adequado está se tornando eficaz e correto, sendo que juntamente com o aumento de resíduos, os riscos que os acompanham também se elevam.

A incineração é uma opção para a disposição final dos resíduos, sendo também uma fonte de energia renovável, considerada uma das formas mais seguras de destinar resíduos potencialmente perigosos, tais como resíduos hospitalares, que envolvem remédios vencidos e materiais contaminados. Em função dessa periculosidade, que afeta a todos profissionais da área da saúde e população, alguns hospitais possuem incineradores próprios (LIMA, 2009). ⁽²⁾

2 OBJETIVOS

Abordar sobre legislações pertinentes a incineração para os resíduos sólidos de serviço da saúde (RSS).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O método adotado foi o de revisão sistemática da literatura, considerado um novo delineamento de pesquisa, o delineamento adotado para o presente estudo foi o de revisão integrativa, onde além de usar conceitos de diversos autores sobre o tema, o próprio autor do artigo expõe sua opinião.

4 RESULTADOS

4.1 PROBLEMÁTICA AMBIENTAL

Os RSS estão se tornando a cada dia um desafio maior para seus gestores, devido ao seu crescente volume, seu poder de infecção, como sua toxicidade,

exigindo assim um tratamento adequado para que reduza os riscos provocados por inúmeras matérias que constituem esses resíduos.

As tecnologias para o tratamento estão à disposição, cada uma com sua característica em particular, faltando, no entanto, um planejamento eficaz que venha a contribuir para a definição de qual forma de tratamento melhor se enquadra dentro da gestão organizacional.

A crescente concentração de RSS presentes em ambientes domiciliares e hospitalares gerados pela população acaba degradando o meio ambiente em sua qualidade ambiental, na forma de poluição, onde de acordo com a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), Lei nº 6.938/1981 (BRASIL, 1981): ⁽³⁾

Dispõem sobre poluição, considera a Degradação da qualidade ambiental resultantes de atividades que direta ou indiretamente prejudiquem a saúde, a segurança e o bem estar da população que possam criar condições adversas às atividades sociais e econômicas que possam afetar desfavoravelmente a biota e as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente, que lançam matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos (BRASIL, 1981). ⁽³⁾

Diferenciar o conceito de poluição, do conceito de contaminação é essencial para o entendimento, pois segundo Braga (2005):⁽⁴⁾ “o conceito de poluição difere-se do conceito de contaminação em alguns aspectos, que muitas vezes, é a concentração de determinada substância ou microrganismo presente no ambiente”.

Ainda para Braga (2005)⁽⁴⁾ “a poluição atinge o ambiente de forma passiva, modificando de forma que o mesmo se torne inadequado para a manutenção da vida”. Portanto o contaminante influencia o ambiente, pois pode prejudicar a vida dos organismos dependendo da sua concentração.

A Resolução CONAMA nº 316/2002,⁽⁵⁾ o princípio da precaução é o fundamento do desenvolvimento sustentável, considerando alguns fatores como que os sistemas de tratamento térmico de resíduos são fontes potenciais de risco ambiental e de emissão de poluentes perigosos, podendo constituir agressão à saúde e ao meio ambiente se não forem corretamente instalados, operados e mantidos (BRASIL, 2002). ⁽⁵⁾

Ainda segundo a Resolução CONAMA nº 316/2002⁽⁵⁾, o estabelecimento de limites máximos de emissão, para poluentes a serem lançados na atmosfera, nas águas e no solo, por sistemas de tratamento térmico, contribui na implementação do Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras para que assim sejam verificadas e sanadas, quaisquer ações danosas ao meio ambiente (BRASIL, 2002). ⁽⁵⁾

Há necessidade de ater-se aos estudos sobre os limites máximos de emissão de poluentes na atmosfera, água e solo.

4.2 LEGISLAÇÕES SOBRE RSS ATRAVÉS DA INCINERAÇÃO NO BRASIL

A Resolução CONAMA nº 316/2002 (BRASIL, 2002) ⁽⁵⁾, que regulamenta o processo da incineração e seus limites de emissão, permite incinerar Resíduos Urbanos, Hospitalares, Industriais e Cadáveres.

A Lei Federal nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010) ⁽⁶⁾, que institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), quanto à origem do RSS, no Art. 13, afirma que são “os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) e do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS)” e em relação à periculosidade, encontra-se englobados nos resíduos perigosos, devido as suas características e por apresentarem algum tipo de risco a saúde e a qualidade ambiental (BRASIL, 2010). ⁽⁶⁾

Há inúmeras definições na lei citada anteriormente, é indispensável o conhecimento sobre as diferenças entre disposição e destinação final ambientalmente adequada, nela consta-se:

Destinação final ambientalmente adequada: destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sisnama, do SNVS e do *Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária (SUASA)*, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos e Disposição final ambientalmente adequada: distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos (BRASIL, 2010). ⁽⁶⁾

Ainda esta lei é muito clara sobre o gerenciamento dos resíduos e incumbem deveres as esferas municipal, estadual e federal quanto a elaboração de planos de gerenciamento para os diferentes tipos de resíduos.

A Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) nº 11175/1990 (ABNT, 1990) ⁽⁷⁾, trata sobre a incineração de resíduos sólidos perigosos, ela define um incinerador como “Qualquer dispositivo, aparato, equipamento ou estrutura usada para a oxidação à alta temperatura que destrói ou reduz o volume ou recupera materiais ou substâncias”. A incineração ocorre com a queima em alta temperatura a fim de reduzir o volume dos materiais e dar uma disposição adequada, sem atingir maleficamente o ser humano e o meio ambiente, devido as suas características químicas, inflamatórias, infecciosas, entre outras (ABNT, 1990). ⁽⁷⁾

A NBR nº 11175/1990 ⁽⁷⁾, ainda define em suas condições gerais que “o resíduo a ser incinerado deve ser compatível com o equipamento” e que o equipamento utilizado para incineração deve atender todas as exigências contidas na NBR, bem como atender também os padrões de emissão, o material particulado, as classes I, II, III, inspeção, teste de queima, operação, análise de resíduos e conter Planos tanto de emergência, quanto para o treinamento dos profissionais envolvidos e para a disposição final das cinzas dos resíduos (ABNT, 1990).

A NBR nº 10.004/2004 (ABNT, 2004) ⁽⁸⁾, que trata sobre a classificação de resíduos sólidos define que:

Resíduos classe I – Perigosos Aqueles que apresentam periculosidade, conforme definido em 3.2 (risco à saúde pública ou risco ao meio ambiente), ou uma das características de: inflamabilidade corrosividade reatividade toxicidade patogenicidade ou constem nos anexos A ou B. $\frac{3}{4}$ Resíduos classe II A – Não inertes Aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I – Perigosos ou de resíduos classe II B – Inertes. Os resíduos classe II A – Não Inertes podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. $\frac{3}{4}$ Resíduos classe II B – Inertes Quaisquer resíduos que não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor (ABNT, 2004). ⁽⁸⁾

Ainda na NBR n° 10004/2004 (ABNT, 2004) ⁽⁸⁾, em relação a sua aplicação menciona que os RSS e devem ser classificados conforme NBR n° 12.808/1993 (ABNT, 1993) ⁽⁹⁾, que dispõe sobre o RSS, objetiva “classificar os RSS quanto aos riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que tenham gerenciamento adequado”. A classe A é designada para os Resíduos infectantes, sendo eles:

A.1 - Biológico Cultura, inóculo, mistura de microrganismos e meio de cultura inoculado proveniente de laboratório clínico ou de pesquisa, vacina vencida ou inutilizada, filtro de gases aspirados de áreas contaminadas por agentes infectantes e qualquer resíduo contaminado por estes materiais. **A.2** - Sangue e hemoderivados Bolsa de sangue após transfusão, com prazo de validade vencido ou sorologia positiva, amostra de sangue para análise, soro, plasma e outros subprodutos. **A.3** - Cirúrgico, anatomopatológico e exsudato Tecido, órgão, feto, peça anatômica, sangue e outros líquidos orgânicos resultantes de cirurgia, necropsia e resíduos contaminados por estes materiais. **A.4** - Perfurante ou cortante Agulha, ampola, pipeta, lâmina de bisturi e vidro. **A.5** - Animal contaminado Carcaça ou parte de animal inoculado, exposto à microrganismos patogênicos ou portador de doença infectocontagiosa, bem como resíduos que tenham estado em contato com este. **A.6** - Assistência ao paciente Secreções, excreções e demais líquidos orgânicos procedentes de pacientes, bem como os resíduos contaminados por estes materiais, inclusive restos de refeições (ABNT, 1993). ⁽⁹⁾

De acordo com a Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) da Agência Nacional da Vigilância Sanitária (ANVISA) n° 306/2004 ⁽¹⁰⁾, que dispõe sobre o regulamento técnico para o gerenciamento de RSS, é considerado que o grupo A são “Resíduos com a possível presença de agentes biológicos que, por suas características, podem apresentar risco de infecção”, inclui-se neste grupo A, o grupo A1 abordado no capítulo VI (ANVISA, 2004): ⁽¹⁰⁾

Culturas e estoques de microrganismos; resíduos de fabricação de produtos biológicos, exceto os hemoderivados; descarte de vacinas de microrganismos vivos ou atenuados; meios de cultura e instrumentais utilizados para transferência, inoculação ou mistura de culturas; resíduos de laboratórios de manipulação genética. - Resíduos resultantes da atenção à saúde de indivíduos ou animais, com suspeita ou certeza de contaminação biológica por agentes classe de risco 4, microrganismos com relevância epidemiológica e risco de disseminação ou causador de doença emergente que se torne epidemiologicamente importante ou cujo mecanismo de transmissão seja desconhecido. - Bolsas transfusionais contendo sangue ou hemocomponentes rejeitadas por contaminação ou por má conservação, ou com prazo de validade vencido, e aquelas oriundas de coleta incompleta. - Sobras de amostras de laboratório contendo sangue ou líquidos corpóreos, recipientes e materiais resultantes do processo de assistência à saúde, contendo sangue ou líquidos corpóreos na forma livre (ANVISA, 2004). ⁽¹⁰⁾

Na Classe B ficam encaixados os resíduos especiais, como o rejeito radioativo, resíduo farmacêutico, resíduo químico perigoso e a classe C é destinada aos resíduos comuns (ABNT, 1993). ⁽⁹⁾

A Resolução CONAMA nº 358/2005 (BRASIL, 2005) ⁽¹¹⁾ que substitui a Resolução 283/2001 do CONAMA que dispõe sobre o tratamento e a destinação dos RSS em concordância com a RDC 306/2004 ⁽¹²⁾ da ANVISA, que:

Dispõe regulamentação técnica para o gerenciamento de RSS, com vistas a preservar a saúde pública e a qualidade do meio ambiente considerando os princípios da biossegurança de empregar medidas técnicas, administrativas e normativas para prevenir acidentes, preservando a saúde pública e o meio ambiente. ⁽¹²⁾

Considerando que geradores do RSS, são os responsáveis pelo correto gerenciamento de todos resíduos por eles gerados, atendendo às normas e exigências legais, desde o momento de sua geração até a sua destinação final; considerando que a segregação dos RSS, no momento e local de sua geração, permite reduzir o volume de resíduos perigosos e a incidência de acidentes ocupacionais dentre outros benefícios à saúde pública e ao meio ambiente (BRASIL, 2005). ⁽¹¹⁾

A necessidade de disponibilizar informações técnicas aos estabelecimentos de saúde, assim como aos órgãos de vigilância sanitária, sobre as técnicas adequadas de manejo dos RSS, seu gerenciamento e fiscalização. Pois um descarte sem os cuidados necessários desses tipos de resíduos pode ampliar o grau de comprometimento do meio ambiente e população, enquanto que um descarte feito

corretamente pode além de reduzir o volume desse material, diminui riscos aos profissionais da área da saúde às pessoas relacionadas.

Como o risco de manuseio desses resíduos é eminente, algumas regras citadas nas resoluções vieram facilitar o procedimento das pessoas envolvidas no processo.

Segundo a Cartilha do Plano de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde (PGRSS), criada segundo a RDC nº 306/04 da ANVISA (ANVISA, 2004)⁽¹⁰⁾, e Resolução CONAMA 358/05 (BRASIL, 2005)⁽¹¹⁾, a implantação do PGRSS, não é voluntária, é obrigatória a todos os estabelecimentos que de alguma forma gerem resíduos de saúde.

Como então proceder no decorrer desse processo, visando a identificação e acondicionamento dos resíduos, segundo a Resolução RDC nº 306/2004 (ANVISA, 2004), onde delimita um conjunto de medidas que permite o reconhecimento dos resíduos contidos nos sacos e recipientes, fornecendo informações ao correto manejo dos RSS.

Deve-se identificar de forma visível, usando símbolos, cores e frases, com adesivos, placas, etiquetas, etc. resistentes ao manuseio desses sacos e recipientes, sempre atendendo aos parâmetros referenciados na norma NBR 7.500 da ABNT, além de outras exigências relacionadas à identificação de conteúdo e ao risco específico de cada grupo de resíduos (ANVISA, 2004).⁽¹⁰⁾

Para facilitar e orientar esse procedimento, estes resíduos foram separados por classes, segundo a Resolução RDC nº 306, de 07/2004 (ANVISA, 2004):⁽¹⁰⁾

Grupo A - restos de material de laboratório, seringas, agulhas, hemoderivados, entre outros, perigosos, que devem ser identificados pelo símbolo de substância infectante constante na NBR-7500 da ABNT, com rótulos fundo branco, desenho e contornos pretos. **Grupo B** - O Grupo B é identificado através do símbolo de risco associado, de acordo com a NBR 7500 da ABNT e com discriminação de substância química e frases de risco. **Grupo C** - é representado pelo símbolo internacional de presença de radiação ionizante (trifólio de cor magenta) em rótulos de fundo amarelo e contornos pretos, acrescido da expressão REJEITO RADIOATIVO. **Grupo D**- destinados à reciclagem ou reutilização, a identificação deve ser feita nos recipientes e nos abrigos de guarda de recipientes, usando código de cores e suas correspondentes nomeações, baseadas na Resolução CONAMA nº. 275/2001, e símbolos de tipo de material reciclável : I - azul - PAPÉIS II- amarelo - METAIS III - verde - VIDROS IV - vermelho - PLÁSTICOS V - marrom - RESÍDUOS ORGÂNICOS. **Grupo E** - É identificado pelo símbolo de substância infectante constante na NBR-7500 da ABNT, com rótulos de fundo branco, desenho e contornos pretos, acrescido da inscrição de RESÍDUO PERFUROCORTANTE, indicando o risco que apresenta o resíduo. Os materiais perfurocortantes devem ser descartados separadamente, no local de sua geração, imediatamente após o uso ou necessidade de descarte, em recipientes, rígidos, resistentes à punctura, ruptura e vazamento, com tampa, devidamente identificados, atendendo aos parâmetros

referenciados na norma NBR 13853/97 da ABNT, sendo expressamente proibido o esvaziamento desses recipientes para o seu reaproveitamento (ANVISA, 2004).⁽¹⁰⁾

É de grande importância buscar uma adequação dos estabelecimentos as normas básicas de tratamento dos RSS estabelecidas pelas leis, onde os hospitais terão prazo de apresentar esse plano de gerenciamentos dos RSS conseguindo assim obter o licenciamento ambiental adaptando-se as exigências legais, porém caso não consigam poderão receber aplicação de multa.

4 CONCLUSÃO

As leis brasileiras são muito bem formuladas e quando as metas que elas propõem forem atingidas, onde todas as etapas do processo forem realizadas, como por exemplo, a correta segregação, o armazenamento, a coleta, o transporte e sua disposição, o Brasil será um exemplo nessa área. A implantação e o uso de um incinerador produzem elevadas taxas de emissões tóxicas, havendo ainda a necessidade de um local adequado devidamente preparado para disposição das cinzas. Para funcionar adequadamente dentro de todas as normas exigidas, inclui-se como desvantagem desse sistema, o alto custo para de instalação e operação do equipamento, exigindo mão de obra qualificada que irá garantir a qualidade de funcionamento, exigindo um rígido controle das emissões atmosféricas.

Mas como vantagem o uso desse sistema proporciona a redução do acúmulo de RSS, a amenização de impactos e danos ambientais e uma melhoria na qualidade de vida de toda a população, uma vez que, esses resíduos não podem ser acumulados em lixões que poderiam gerar contaminações no ar, solo e lençóis freáticos, atrair animais vetores de doenças e contaminações, que ocasionam riscos à saúde pública.

REFERÊNCIAS

- 1 ZÔMPERO, Andréia de Freitas. **Ecologia aplicada: gestão ambiental** / Andréia de Freitas Zômper. – São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2009. Acesso em: março de 2018.
- 2 LIMA, Rosimeire Suzuki. **Gestão de resíduos sólidos: gestão ambiental** / Rosimeire Suzuki Lima. - São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2009. www.admpg.com.br/2015/down.php?id=1844&q=1. Acesso agosto de 2018.
- 3 BRASIL. Constituição (1981). **Lei nº 6938, de 31 de agosto de 1981**. Dispões sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação e da outras providências. Política Nacional do Meio Ambiente. Brasília, DF, Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm>. Acesso em: 08 out. 2018.
- 4 BRAGA, Benedito. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 2.ed. São Paulo, SP. 2005. Acesso em: 08 out. 2018.

- 5 BRASIL. Constituição (2002). **Resolução Conama nº 316, de 29 de outubro de 2002.** "Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos". BRASÍLIA, DF, 20 nov. 2002. p. 92-95. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=338>>. Acesso em: 08 out. 2018.
- 6 BRASIL. Constituição (2010). Lei nº 12305, de 02 de agosto de 2010. "Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.". **Lei Nº 12305/2010.** BRASÍLIA, DF, 03 ago. 2010. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>>. Acesso em: 03 out. 2018.
- 7 ABNT. Constituição (1990). Nbr nº 11175, de julho de 1990. **Incineração de Resíduos Sólidos Perigosos - Padrões de Desempenho.** Brasília, DF, Disponível em: <http://www.ambientall.com.br/ambientall_trata/downloads/Norma-ABNT-NBR-11175.pdf>. Acesso em: 10 out. 2018.
- 8 ABNT. Norma Brasileira nº 1004:2004, de 2004. Resíduos sólidos- classificação. **Abnt Nbr 10004:2004.** p. 1-77. Disponível em: <<http://www.unaerp.br/documentos/2234-abnt-nbr-10004/file>>. Acesso em: 10 set. 2018
- 9 ABNT. Constituição (1993). Nbr nº 12808, de janeiro de 1993. **Resíduos de Serviços de Saúde.** Brasília, DF, Disponível em: <<http://wp.ufpel.edu.br/residuos/files/2014/04/NBR-12808-1993-Residuos-de-servicos-de-saude.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2018.
- 10 ANVISA. Constituição (2004). Resolução nº 306, de 07 de dezembro de 2004. Dispõe sobre o Regulamento Técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde. **Resolução Rdc Nº 306, de 7 de Dezembro de 2004.** BRASÍLIA, DF, 2004. p. 1-25. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/documents/33880/2568070/res0306_07_12_2004.pdf/95eac678-d441-4033-a5ab-f0276d56aaa6>. Acesso em: 17 set. 2018.
- 11 BRASIL. Constituição (2005). Resolução nº 358, de 29 de abril de 2005. Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências. **Resolução no 358, de 29 de Abril de 2005.** BRASÍLIA, DF, p. 1-9. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35805.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2018.
- 12 ANVISA. Constituição (2004). Resolução nº 306, de 07 de dezembro de 2004. Dispõe sobre o Regulamento Técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde.. **Resolução Rdc Nº 306, de 7 de Dezembro de 2004.** BRASÍLIA, DF, 2004. p. 1-25. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/documents/33880/2568070/res0306_07_12_2004.pdf/95eac678-d441-4033-a5ab-f0276d56aaa6>. Acesso em: 13 out. 2018.

ANÁLISE COMPARATIVA DE RENDIMENTOS EM BIO-ÓLEO DE PIRÓLISES RÁPIDA E LENTA DO CAROÇO DO PÊSSEGO

Duarte, C.S.¹
Silveira, L.A.²
Valadão, L.S.³
De los Santos, D.G.⁴
Sanchez Filho, P.J.⁵

- ¹ *Graduanda em Engenharia Química, Caroline dos Santos Duarte, IFSUL, Campus Pelotas, carolsduarte@hotmail.com.*
- ² *Graduando em Engenharia Química, Lucas Aldrighi da Silveira, IFSUL, Campus Pelotas, lucas*
- ³ *Mestranda em Engenharia e Ciências Ambientais, Lidiane Schmalfuss Valadão, IFSUL, Campus Pelotas, lidianeschmalfuss@hotmail.com.*
- ⁴ *Doutor Diego Gil de los Santos, Engenharia Química, IFSUL, Campus Pelotas.*
- ⁵ *Doutor Pedro José Sanchez Filho, Grupo de Pesquisa em Contaminantes Ambientais, IFSUL, Campus Pelotas, pjsans@ibest.com.br*

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

Resumo

A pirólise está entre os principais processos termoquímicos utilizados para converter a biomassa em uma forma energética mais útil. Neste processo são gerados produtos gasosos, bio-óleo e carvão, podendo ser uma alternativa viável na destinação de resíduos agroindustriais gerados em larga escala, como o caroço de pêssigo. Assim, o objetivo do estudo foi analisar os rendimentos em bio-óleo das pirólises lenta e rápida, afim de se determinar a condição mais favorável para produção de óleo. A pirólise lenta foi realizada em reator de aço inox de leito fixo enquanto que a rápida ocorreu em um reator de quartzo de leito fixo. A partir da conversão térmica obteve-se rendimentos de 19,4% e 45,02%, nas pirólises lenta e rápida, respectivamente. Conforme os resultados obtidos, indica-se que a pirólise rápida é mais eficaz para a produção de bio-óleo, em mesma condição de temperatura final.

Palavras-chave: Biomassa, Biocombustível, Resíduo Agroindustrial, Conversão Térmica.

COMPARATIVE ANALYSIS OF PERFORMANCES IN BIO-OIL OF QUICK AND SLOW PYROLYSES OF PEACH STONE

Abstract

Pyrolysis is among the major thermochemical processes used to convert biomass into a more useful energy form. In this process, gaseous products, bio-oil and coal are generated, and can be a viable alternative in the destination of agroindustrial wastes generated in large scale, such as peach. Thus, the objective of the study was to analyze the bio-oil yields of the slow and fast pyrolysis in order to determine the most favorable condition for oil production. The slow pyrolysis was carried out in a fixed bed stainless steel reactor, whereas the fast pyrolysis occurred in a fixed bed quartz reactor. From the thermal conversion, yields of 19.4% and 45.02% were obtained in the slow and fast pyrolysis, respectively. According to the

results, it is indicated that the rapid pyrolysis is more efficient to produce bio-oil, in the same final temperature condition.

Key words: biomass, biofuel, agroindustrial waste, thermic conversion.

1 INTRODUÇÃO

A biomassa é considerada como fonte promissora de energia a qual pode ser obtida de vegetais não lenhosos ou lenhosos, como é o caso da madeira, e seus resíduos, e de resíduos orgânicos, nos quais encontramos os resíduos agrícolas, urbanos e industriais. As características e disponibilidade regional da biomassa são definidas como um conjunto de indicadores para sustentabilidade, em especial com foco no meio ambiente e aplicação de critérios socioeconômicos. ¹

Embora grande parte dos resíduos agroindustriais já possua aplicação definida, a biomassa residual de atividades agrícolas ainda não é bem utilizada no Brasil. Em muitos casos é deixada para decomposição natural no solo, sem aproveitamento da energia nela contida e produzindo gás carbônico e metano, que conhecidamente aceleram os efeitos estufa na atmosfera. Os resíduos até agora representam um potencial de energia ainda pouco explorado em todo o mundo. ²

A pirólise é um processo termoquímico de quebra de matéria orgânica através da aplicação de altas temperaturas em atmosferas livres de oxigênio. A pirólise rápida se diferencia pelos tempos curtos de reação da biomassa no interior do reator (<2s), e altas taxas de aquecimento das partículas, permitindo assim a obtenção de compostos orgânicos complexos, dado que a biomassa não permanece tempo suficiente no interior do reator para ser completamente decomposta em componentes gasosos menores. ³

Existem dois principais tipos de pirólise: a pirólise analítica e a pirólise aplicada. A pirólise analítica visa a caracterização da amostra original, pela análise dos produtos de pirólise. A pirólise aplicada tem o propósito de gerar produtos de pirólise para um objetivo específico.⁴ Esta última, tem sido largamente empregada como tecnologia de conversão de biomassa em combustíveis gasosos, líquidos e sólidos entre outros processos de conversão termoquímica. ⁵

A quebra térmica das ligações químicas é a primeira etapa da reação de pirólise, onde as espécies formadas podem se submeter a reações adicionais de quebra de ligações na fase condensada para formar mais compostos voláteis ou podem realizar reações de policondensação/polimerização para formar compostos

maiores, que constituirão a fase líquida ou a sólida dos produtos. Na segunda etapa, as espécies voláteis podem sofrer mais reações heterogêneas com os sólidos residuais e/ou as reações homogêneas em fase gasosa. Reações homogêneas da fase vapor podem converter alguns produtos de óleo em gases e uma pequena quantidade de carvão. Todas essas reações são minimizadas por um pequeno tempo de reação. ⁶

Entre as biomassas produzidas em grande escala na região, tem-se o caroço de pêssego. Resíduo agroindustrial decorrente das indústrias de conservas, sendo largamente encontrado na região sul do Rio Grande do Sul. Somente na cidade Pelotas/RS, na safra de 2016/2017, cerca de 40 mil toneladas da fruta foram colhidas, o qual produz cerca de 4 mil toneladas de caroço. A semente, popularmente referida como “amêndoa”, apresenta grande valor econômico devido principalmente a extração de benzaldeído, composto muito utilizado nas indústrias alimentícias como aromatizante, na produção de perfumes medicamentos e até pesticidas. No entanto o endocarpo é considerado rejeito para a maioria dos setores por não ter uma utilidade bem definida.

Dentre as técnicas de conversão térmica utilizadas para redução de resíduos, a pirólise tem se mostrado eficiente para conversão de lignina em materiais com maior valor agregado. Dentre os benefícios específicos deste método, pode-se citar a redução do volume de resíduos bem como a recuperação de produtos químicos e a substituição de combustíveis fósseis. ⁷

Desta forma, o presente trabalho teve por objetivo determinar os rendimentos em bio-óleo dos processos de pirólise rápida e lenta do caroço de pêssego em dois diferentes reatores: um reator de bancada de quartzo (para pirólise rápida) e um reator de aço inox (pirólise lenta).

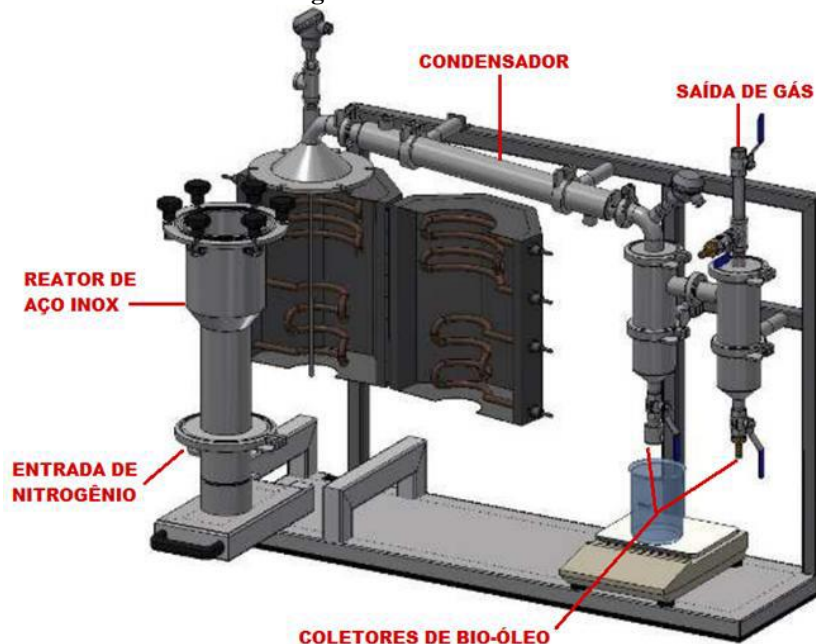
2 MATERIAIS E MÉTODOS

A biomassa utilizada foi o caroço de pêssego de diferentes cultivares utilizados na produção de conservas de pêssego por indústrias da região sul do Rio Grande do Sul. Os caroços foram inicialmente quebrados manualmente, com um auxílio de um martelo, para remoção das amêndoas. Logo, foram triturados em um moinho de facas e peneirados com agitação constante, durante 15 minutos, para separação granulométrica.

2.1 Pirólise Lenta

O processo de pirólise lenta foi realizado no reator de aço inox com leito fixo (planta piloto – Sistema de Volatilização de Materiais Orgânicos SIVOMO-250), que pode ser visto na figura 1, em escala laboratorial. Para este processo, foram pesados 100 g de amostra com 2 mm diâmetro, a temperatura de pirólise foi 700 °C, por um tempo de residência de 10 min, com taxa de aquecimento de 30 °C.min⁻¹ e fluxo de nitrogênio com vazão média fixado em 30 mL.min⁻¹.

Figura 1 Planta Piloto SIVOMO 250

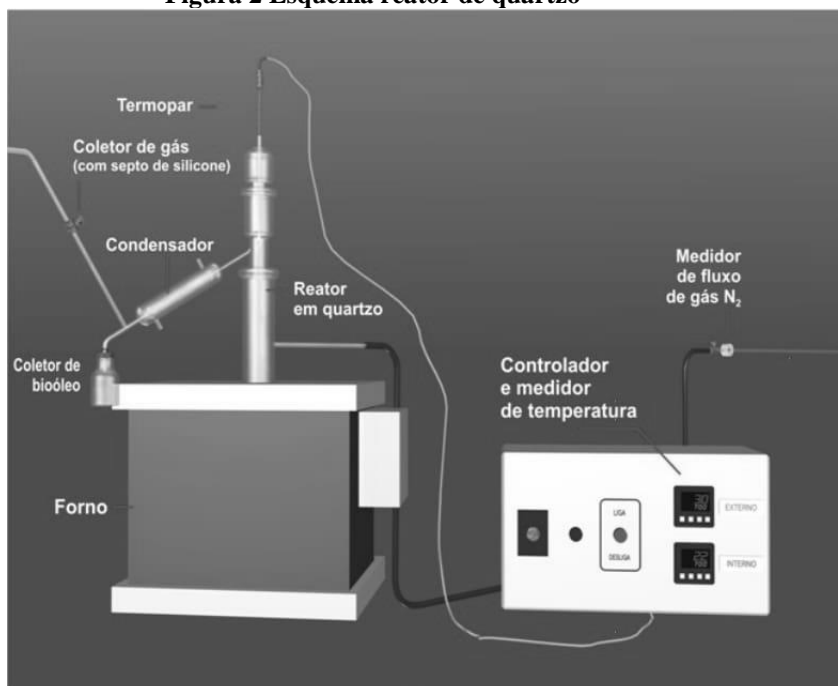


O bio-óleo obtido foi coletado, o condensador foi lavado com diclorometano (DCM) e o resíduo foi retido em um béquer e colocado em evaporador rotatório para recuperação do DCM e separação do óleo. A massa de óleo proveniente do condensador e das saídas de bio-óleo foram obtidas.

2.2 Pirólise Rápida

A pirólise rápida foi realizada em um reator de quartzo de bancada, cujo esquema pode ser visto na figura 2, com 7 g de endocarpo previamente seco, com 2 mm de diâmetro, sob fluxo de 5 mL.min⁻¹ de N₂. A rampa de aquecimento foi de 60 °C.min⁻¹ até a temperatura de 700 °C, com tempo de residência no reator de 5 minutos. O bio-óleo obtido foi coletado, o condensador foi lavado com DCM e o resíduo foi retido em um béquer.

Figura 2 Esquema reator de quartzo

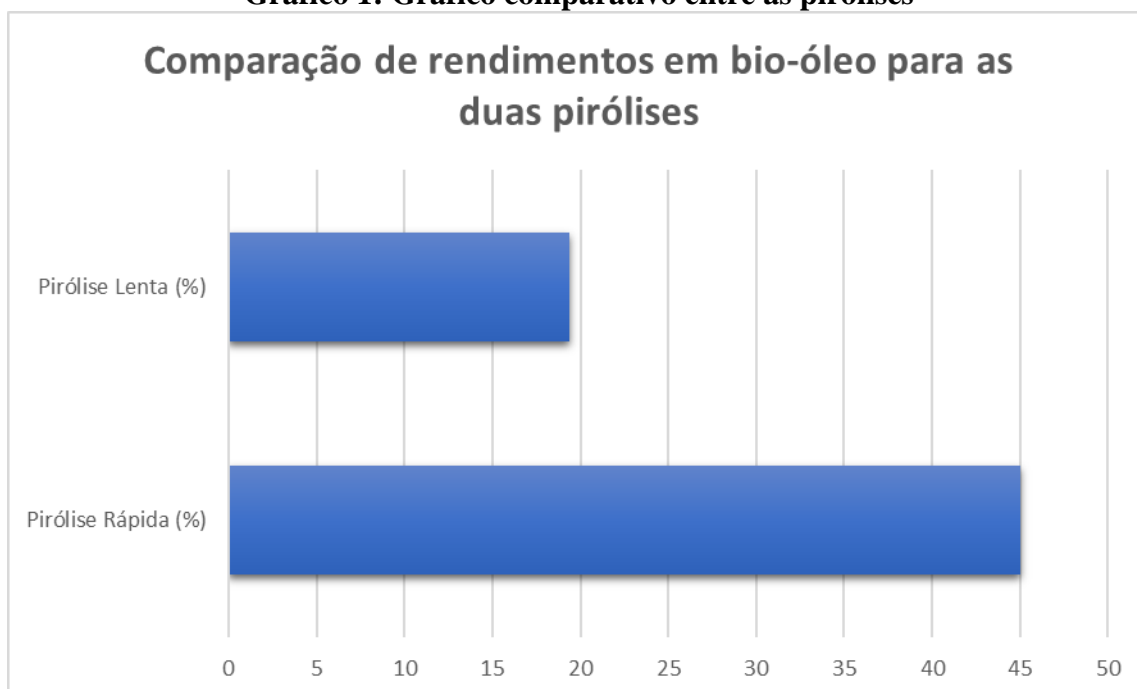


Os rendimentos de ambas pirólises foram calculados a partir da relação entre as massas de bio-óleo obtido e a massa total de amostra utilizada.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No gráfico abaixo estão relacionados os rendimentos obtidos para as pirólises rápida e lenta, com relação a massa inicialmente pesada de caroço de pêsseso.

Gráfico 1: Gráfico comparativo entre as pirólises



Conforme descrito por Moraes et al ⁸ observa-se que o processo de pirólise rápida favorece a formação de compostos de menor peso molecular, gerando um maior rendimento em bio-óleo.

O processo de pirólise rápida apresentou um rendimento em massa de bio-óleo de 45,02%, valor este superior ao encontrado por Migliorini et al ⁹ para a mesma biomassa (32,4%); bem como para outras biomassas como casca de arroz com rendimento de 27,3%, encontrada por Moraes et al ⁸, capim-elefante – 35%, estudada por Lee et al¹⁰ e também em acordo com Wang et al¹¹ que utilizou biomassas compostas de celulose, hemicelulose e lignina com rendimento de 37%.

A pirólise realizada no reator de inox com uma rampa de aquecimento de 30°C.min⁻¹ beneficia que os compostos gerados nas primeiras etapas de decomposição dos polímeros constituintes da biomassa, permaneçam mais tempo na superfície do resíduo sólido. Tal fato favorece reações de condensação, gerando compostos mais de maior peso molecular, enriquecendo em carvão e reduzindo o teor de bio-óleo.

4 CONCLUSÃO

Pode-se determinar que a pirólise rápida, com a mesma temperatura final, proporcionou um maior rendimento em bio-óleo quando relacionada com a pirólise lenta, o que está em acordo com a literatura.

O bio-óleo possui um grande potencial para aplicação como insumos para indústrias química e sua utilização para produção de produtos de maior valor agregado apresenta vantagens ambientais, uma vez que se apresenta em um destino a um resíduo agrícola gerado em grandes quantidades na região.

Agradecimentos

O Grupo de Pesquisa em Contaminantes Ambientais do IFSUL Campus Pelotas agradece ao CNPq, pelo apoio financeiro, à PROPESP e ao Curso Técnico em Química do IFSUL-Campus Pelotas pela estrutura disponibilizada.

REFERÊNCIAS

- 1 ZHANG Q, CHANG J, WANG T, XU Y. Review of biomass pyrolysis oil properties and upgrading research. *Energy Conversion and Management* 2007; 48:87–92.
- 2 WIDAYATNO WB, GUAN G, RIZKIANA J, YANG J, HAO X, TSUTSUMI A, ET AL. Upgrading of bio-oil from biomass pyrolysis over Cu-modified b-zeolite catalyst with high selectivity and stability. *Appl Catal B: Environ* 2016; 186:166–72.
- 3 BRIDGWATER, A.V.; Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading, *Biomass and Bioenergy*, Volume 38, March 2012, Pages 68-94.
- 4 IRWIN, W.J.; *Analytical Pyrolysis: A Comprehensive Guide*, 1. ed.: Dekker. Vol.22, p.578. 1982.
- 5 TSAI, W.T.; LEE, M.K.; CHANG, Y.M.; Fast Pyrolysis of Rice Straw, Sugarcane Bagasse and Coconut Shell in an Induction-Heating Reactor. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, Vol.76, p.230-237. 2006.
- 6 GARCÍA-PÉREZ, M.; CHAALA, A.; ROY, C.; Vacuum Pyrolysis of Sugarcane Bagasse, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, Vol.65, p.111-136, 2002.
- 7 GONZALEZ JF, ROMAN S, ENCINAR JM, MARTÍNEZ G. Pyrolysis of various biomass residues and char utilization for the production of activated carbons. *J Anal Appl Pyrolysis* 2009;85:134e41.
- 8 MORAES, M.S.A., MIGLIORINI, M.V., DAMASCENO, F.C., GEORGES, F, ALMEIDA, S., ZINI, C.A., JACQUES, R.A., CARAMÃO, E.B., *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2012.

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E CONCENTRAÇÃO NA REAÇÃO DE SAPONIFICAÇÃO DO ACETATO DE SÓDIO

Boemeke, V. H..¹

Andrade, V.M.²

¹ Graduando do Curso Superior de Engenharia Química, Vinícius Holz Boemeke, Instituto Federal Sul-Rio-grandense, viniciusholzboemeke@gmail.com

² Professor do Curso Superior de Engenharia Química, Vinícius Mordini de Andrade, Instituto Federal Sul-Rio-grandense, viniciusandrade@pelotas.ifsul.edu.br.

Resumo

O acetato de sódio é uma substância de grande utilidade industrial, a qual pode ser obtida através da hidrólise do acetato de etila na presença de hidróxido de sódio. Esta reação possui uma série de etapas que a tornam uma reação não elementar, tornando complexo o estudo de seus parâmetros cinéticos. O objetivo deste trabalho é analisar a influência da temperatura e concentração de reagentes na reação de hidrólise do acetato de etila. Para isso, foram realizados ensaios em diferentes temperaturas e concentrações iniciais de hidróxido de sódio e acetato de etila em um reator batelada. Os dados obtidos permitiram determinar um comportamento de segunda ordem para a reação, bem como a energia de ativação e a constante pré-exponencial da equação de Arrhenius. Foi verificado ainda um aumento da conversão dos reagentes quando utilizados em concentrações mais altas.

Palavras-chave: Cinética química; acetato de etila; termodinâmica; simulação numérica.

ANALYSIS OF THE TEMPERATURE INFLUENCE AND CONCENTRATION IN THE SAPONIFICATION REACTION OF SODIUM ACETATE

Abstract

Sodium acetate is a very useful substance, which can be obtained by the hydrolysis of ethyl acetate in the presence of sodium hydroxide. This reaction has a series of steps that make it a non-elementary reaction, becoming complex the study of its kinetic parameters. The aim of this study is to analyze the influence of temperature and concentration of reagents in the reaction of hydrolysis of ethyl acetate. For this purpose, test were carried out at different temperatures and initial concentrations of sodium hydroxide and ethyl acetate in a batch reactor. The obtained data allowed determining a second-order behavior for the reaction, as well as the activation energy and the pre-exponential constant of Arrhenius equation. It was still verified an increase of the conversion of reagents when used in higher concentrations.

Key words: Chemical kinetics; ethyl acetate; thermodynamics; numerical simulation.

1 INTRODUÇÃO

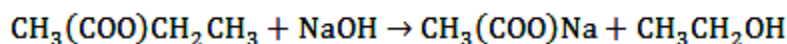
Na indústria, os processos químicos são elaborados de forma a produzir determinado produto a partir de diversas matérias primas e etapas de maneira economicamente viável. Apesar de contar com várias operações unitárias que colocam os materiais em condição de reagir, o tratamento químico, em muitos

casos, é o coração do projeto. A engenharia das reações químicas engloba diversas áreas do conhecimento, tais como cinética química, termodinâmica e transferência de massa e calor. Sendo assim, todos esses fatores devem ser levados em consideração no projeto de um reator ⁽¹⁾.

O etanoato de etila ($\text{CH}_3(\text{COO})\text{CH}_2\text{CH}_3$), também denominado acetato de etila, pertence à classe orgânica dos ésteres. É um líquido, límpido, incolor e com o odor forte e frutal, de polaridade moderada, sendo utilizado como solvente polar. É instável na presença de bases fortes, onde sofre uma reação de hidrólise chamada de saponificação, devido a semelhança com a reação sofrida por ácidos graxos em meio alcalino ⁽²⁾.

A reação do acetato de etila na presença de hidróxido de sódio tem como um de seus produtos o acetato de sódio. Esta substância é de grande utilização na indústria, presente como aditivo para alimentos na purificação de glicose e de carne, no curtimento de couros, como estabilizante de cor no processo de tingimento e fotografia, e como agente desidratante ⁽³⁾. Sendo assim, faz-se necessário estudar as características cinéticas e termodinâmicas da sua reação de obtenção fim de maximizar a conversão e o uso econômico e ambientalmente amigável dos reagentes envolvidos ⁽⁴⁾.

A reação da formação do acetato de sódio é dada por:



Essa reação é constituída de etapas intermediárias que formam o mecanismo da reação ⁽⁵⁾, conforme as figuras abaixo:

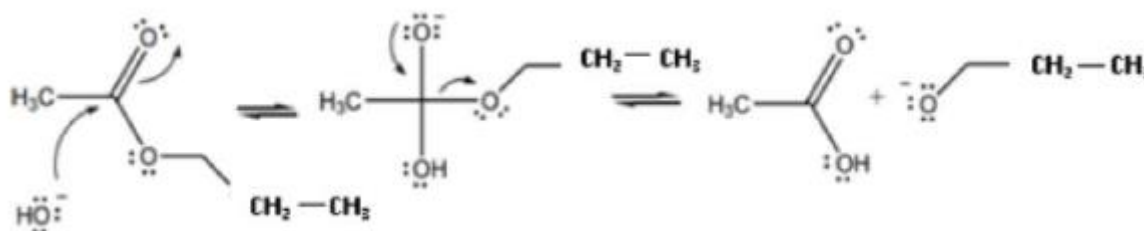


Figura 1: Hidroxila (nucleófilo) ataca o grupo carbonila do éster, eliminando o grupo acetato.

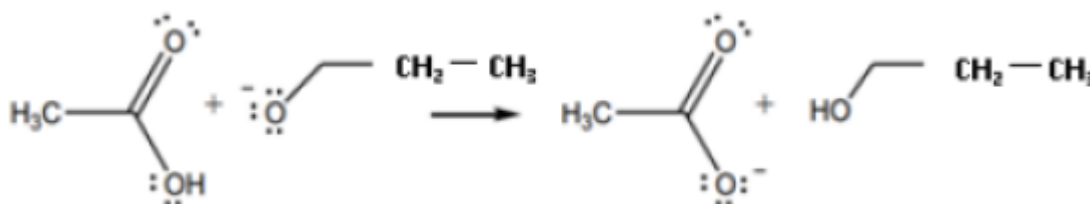


Figura 2. Ácido acético desprotona em meio básico e forma o íon acetato.

Por ser constituído de diversas etapas, o comportamento cinético da reação é dito não elementar. A elementaridade de uma reação ocorre quando os coeficientes estequiométricos coincidem com a ordem da reação, representada pelos expoentes da equação da taxa da reação, mostrada abaixo:

$$-r_A = kC_A^a C_B^b$$

A ordem da reação fornece a relação entre a concentração dos reagentes e a velocidade com a qual a reação está ocorrendo. Nas reações não elementares, a melhor forma de determinar os coeficientes da ordem de reação é empiricamente.

Outro parâmetro determinado desta forma é a constante de taxa de reação, simbolizada por k . Essa constante relaciona as influências termodinâmicas que afetam a reação. Sua relação com a temperatura é derivada da equação de van't Hoff::

$$\frac{d(\ln K_c)}{dT} = \frac{\Delta H}{RT^2}$$

Onde:

K_c é a constante de equilíbrio

T é a temperatura

ΔH é a variação de entalpia da reação

R é a constante universal dos gases perfeitos

De forma análoga, podemos reescrever a equação para a constante de taxa de reação (k) introduzindo o termo energia de ativação (E), conforme equação abaixo:

$$\frac{d(\ln k)}{dT} = \frac{E}{RT^2}$$

Quando a energia de ativação for independente da temperatura, a equação diferencial pode ser resolvida obtendo-se a equação de Arrhenius:

$$k = Ae^{\frac{-E}{RT}}$$

Sendo A chamado de fator pré-exponencial.

O conhecimento da constante da taxa de reação e da ordem de reação permite prever como a reação será afetada pela variação da temperatura e pelas concentrações das matérias primas, o que permite estudar a possível otimização do processo em termos de conversão ao utilizar diferentes tipos de reatores e condições. O objetivo deste trabalho é analisar a influência da temperatura e concentração na reação de saponificação do acetato de etila em meio alcalino.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foi utilizado banho termostatizado nas temperaturas de 278, 291, 298 e 306 K. O banho consiste em um reservatório de aço inoxidável contendo água sob recirculação com sistema de aquecimento. O banho foi ajustado à temperatura de estudo e em seu interior foi colocado duas provetas de $2,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$, uma contendo solução de acetato de sódio e na outra solução de hidróxido de sódio, ambas a a concentração de $100 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3}$. O objetivo desta etapa foi a equalização de temperatura dos reagentes, verificada com auxílio de termômetro de mercúrio.

Simultaneamente a esse tempo de imersão dos recipientes contendo os reagentes, foram preparadas soluções de espera em erlenmeyers de $2,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$. Cada solução continha $2,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$ de solução de ácido sulfúrico $10 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3}$ e três gotas de fenofaleína 1%. Os recipientes contendo as soluções foram numerados de 1 a 12, referentes a cada intervalo de retirada de solução do reator.

O reator era consistido de um béquer de $2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ posicionado no interior do banho termostatizado. No interior do reator foi acoplado um termômetro de mercúrio para verificar a manutenção da temperatura e um sistema de bombeamento submerso para manter a solução sob agitação constante. No começo de cada ensaio, os reagentes previamente ambientados na temperatura do banho termostatizado foram adicionados simultaneamente ao reator, quando foi iniciada a contagem de tempo.

A cada 60 segundos, com o auxílio de pipeta automática de $5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$, foram coletadas amostras de $5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$ de solução do reator e imediatamente colocadas em um erlen Meyer contendo a solução de espera. Após 720 segundos de ensaio, encerrou-se essa etapa e prosseguiu com a etapa de titulação. Os erlen Meyers foram titulados utilizando bureta de $2,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$ contendo solução de hidróxido de sódio $25 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3}$. Os volumes da solução alcalina consumidos foram anotados para tratamento computacional.

Utilizando a temperatura de 291 K, os ensaios foram realizados novamente utilizando concentrações iguais de acetato de sódio e hidróxido de sódio, a $300 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3}$ e $500 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3}$. Para a primeira condição, foram utilizadas solução de espera de ácido sulfúrico $30 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3}$ e solução de titulação de hidróxido de sódio de $75 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3}$. Para a segunda condição, foram utilizadas solução de espera de ácido sulfúrico $50 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3}$ e solução de titulação de hidróxido de sódio de $125 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3}$.

A análise dos dados foi realizada em planilha eletrônica, onde a partir dos volumes obtidos durante a titulação foram calculadas as concentrações de hidróxido de sódio em diferentes instantes durante a reação. A ordem de reação foi verificada resolvendo a equação de segunda ordem para a taxa da reação:

$$-r_A = -\frac{dC_A}{dt} = kC_A^2$$

Obtendo-se a equação:

$$\frac{1}{C_A} = kt + \frac{1}{C_{A0}}$$

Dessa forma, construindo um gráfico $1/C_A$ x t espera-se obter um comportamento linear, de coeficiente angular igual a k e coeficiente linear igual a $1/C_{A0}$.

Obtidos valores de k para as diferentes temperaturas estudadas, foi construído um gráfico $\ln k$ x $1/T$. A curva obtida deve ser linearizada e modelada por uma dedução da equação de Arrhenius:

$$\ln k = \frac{-E}{RT} + \ln A$$

Onde a energia de ativação foi determinada através do coeficiente angular ($-E/R$) e a constante pré-exponencial pelo coeficiente linear ($\ln A$).

Os dados referente a temperatura de 291 K variando as concentrações de reagentes foram utilizados para calcular a conversão de A em relação ao tempo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 3 são mostrados os valores de $1/C_A$ e relação ao tempo nas diferentes temperaturas estudadas:

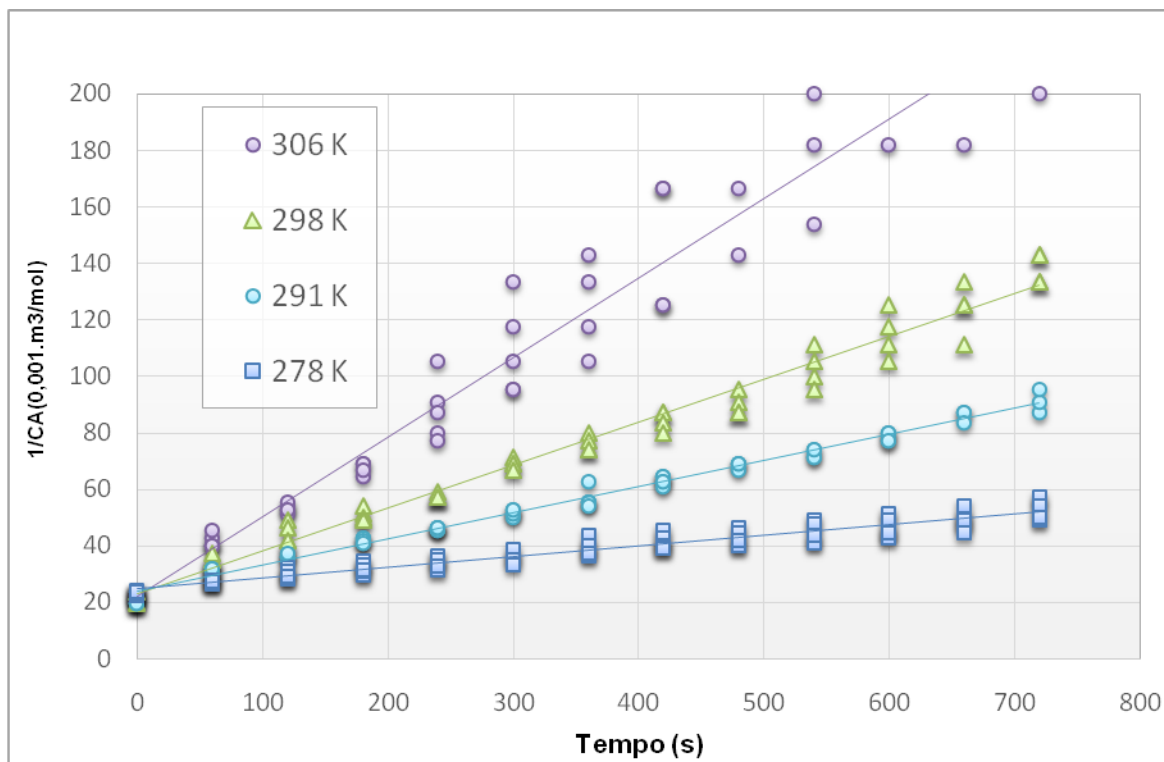


Figura 3 Reação modelada sob hipótese de segunda ordem

Aproximando uma equação linear para cada condição de temperatura, obtêm-se valores de coeficiente de regressão (R^2) muito próximos a 1 (Tabela 1), o que permite afirmar que, para alimentação equimolar de 100 mol.m^{-3} dos reagentes e em uma faixa de temperatura de 278 a 306 K, a reação se comporta como uma reação elementar de segunda ordem. Esta observação está de acordo com Krüger⁽⁶⁾, que afirma que a ordem de reação da saponificação do acetato de etila está na faixa de 0 a 2.

Com os diferentes valores de k obtidos (Tabela 1) e relacionando com as respectivas temperaturas por análise gráfica (Figura 4), foi possível determinar os parâmetros termodinâmicos da reação (Tabela 2).

Tabela 1. Coeficientes de regressão e de taxa de reação para diferentes temperaturas.

Temperatura (K)	R^2	$k (\text{m}^3.\text{s}^{-1}.\text{mol}^{-1})$
278	0,9227	$3,81.10^{-5}$
291	0,9899	$9,94.10^{-5}$
298	0,9772	$1,56.10^{-4}$
306	0,9581	$2,76.10^{-4}$

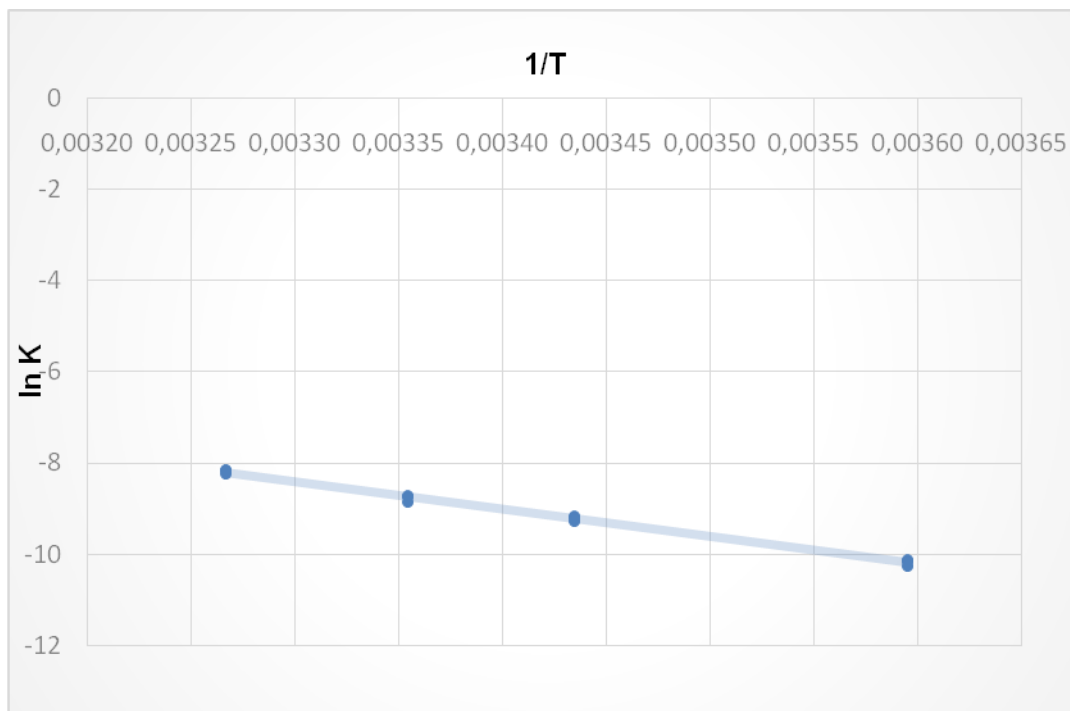


Figura 4: Gráfico $\ln k \times 1/T$ para determinação dos parâmetros cinéticos

Tabela 2: Resultados obtidos

Parâmetro	Valor obtido
Energia de Ativação (E)	49765,11 J.mol ⁻¹
Constante pré-exponencial	83860 m ³ .s ⁻¹ .mol ⁻¹

Comparando o valor de energia de ativação com o encontrado por Mukhtar ⁽⁴⁾, é citado o valor de 433094 J.mol⁻¹, um valor próximo do determinado neste trabalho.

Com os dados obtidos variando a concentração inicial à temperatura de 18°C (Figura 5), foi possível verificar um aumento da conversão final dos reagentes, o que pode ser explicado por uma taxa de reação inicial maior devido a relação de segunda ordem desta em relação à concentração.

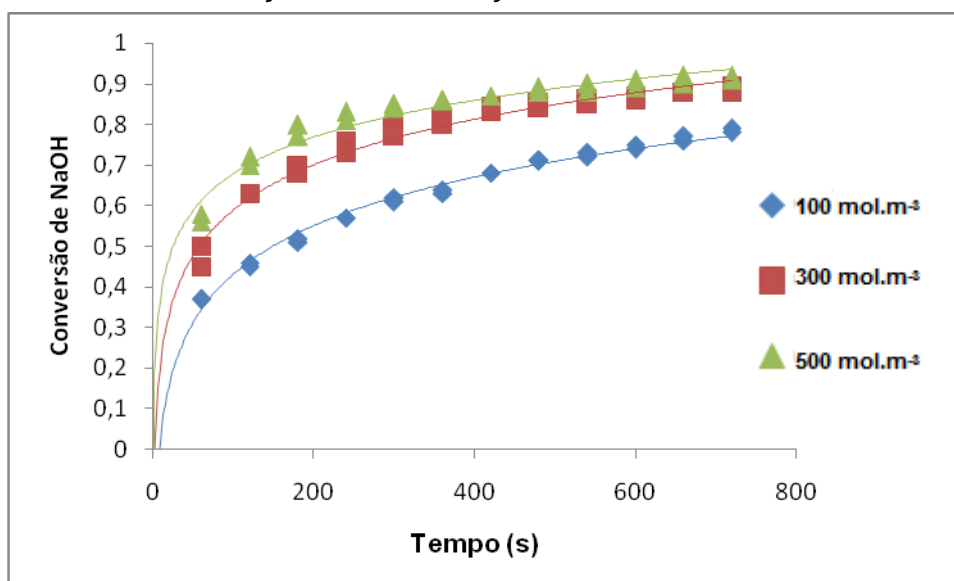


Figura 5: Conversão de reagente em relação ao tempo para diferentes condições iniciais

4 CONCLUSÃO

Para as condições estudadas, a reação de saponificação do acetato de etila possui comportamento de segunda ordem. A determinação dos parâmetros cinéticos permite prever o comportamento na faixa de temperatura estudada. Valores maiores de concentração inicial resultaram em valores maiores de conversão dos reagentes.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao IFSUL pela concessão da bolsa de iniciação científica e ao grupo de pesquisa do Laboratório de Bioquímica Aplicada da instituição por ceder o espaço e equipamento necessários para realizar o trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 LEVENSPIEL, O. Engenharia das Reações Químicas. São Paulo, SP: Editora Blucher, 2000, 3ª Ed.
- 2 CHEMISOL – Acessado em 29 de Agosto de 2015. Disponível em: [http://www.chemisol.com.br/produtos/acetato-de-etila/Processo de corte de jato de água com abrasivo](http://www.chemisol.com.br/produtos/acetato-de-etila/Processo%20de%20corte%20de%20jato%20de%20%C3%A1gua%20com%20abrasivo). Disponível em: <http://ciencia.hsw.uol.com.br/questao553.htm>.
- 3 CHEMICAL BOOK – CAS Database List 2017. www.chemicalbook.com. Acessado em 29 de agosto de 2018. Online. Disponível em: http://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_EN_CB1230044.htm
- 4 AHMAD, M.; UMAR, S.; KHAN, A. F.; QADIR, H. A.; QIZILBASH, M. Estimation of Parameters of Arrhenius Equation for Ethyl Acetate Saponification Reaction. Research Journal of Chemical Sciences, Bangalore, Vol. 5, n.11, p. 46-50, 2015.
- 5 SOLOMONS, T. W. Graham; FRYHLE, Craig. B. Organic Chemistry, 9ª ed. Editora Wiley. Nova Iorque: 2008.
- 6 KRÜGER, A. G.; REIS, C. S.; POSTAL, K. Cinética da saponificação do Acetato de Etila - Determinação da constante de velocidade da reação, Universidade Federal do Paraná. Curitiba: 2013.

ANÁLISE ESPECTRAL DO PROCESSO DE BALANCEAMENTO DINÂMICO COM 2 PLANOS DE CORREÇÃO EM UMA BANCADA DIDÁTICA COM EIXO RÍGIDO

Gomes, W.R.C.¹

Rosa, W. da.²

¹ *Doutorando em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, William Roger Carvalho Gomes, Instituto SENAI de Inovação – Soluções Integradas em Metalmeccânica, william.gomes@senairs.org.br.*

² *Graduando em Engenharia Mecânica, Waldo da Rosa, Instituto Federal Sul Rio-grandense, waldodarosa@yahoo.com.br.*

Resumo

Um dos problemas mais comuns em máquinas rotativas é o surgimento da vibração devido ao desbalanceamento estático e dinâmico. O objetivo deste trabalho é analisar o espectro do processo de balanceamento dinâmico com 2 planos de correção em uma bancada didática com eixo rígido, além de aprimorar o método teórico-prático do assunto. A bancada é composta por um motor elétrico de corrente alternada fixado a uma plataforma, e com seu eixo acoplado a um rotor que pode sofrer desbalanceamento através da adição e/ou remoção de massas. Os instrumentos utilizados para realização deste estudo são um analisador de vibração e um balanceador dinâmico, além de uma balança de precisão para medir as massas de adição. A realização dos experimentos possibilitou a detecção das falhas por meio dos níveis de vibração nos mancais medidos pelo acelerômetro e da frequência do sinal de vibração. A eficiência do balanceamento foi comprovada pelo espectro de vibração com transformada de Fourier.

Palavras-chave: Bancada; Vibração; Balanceamento; Didática.

SPECTRAL ANALYSIS OF THE DYNAMIC BALANCING PROCESS WITH 2 CORRECTION PLANS IN DIDACTIC STAND WITH HARD AXIS

Abstract

One of the most common problems in rotating machines is the appearance of vibration due to static and dynamic imbalance. The objective of this work is to analyze the spectrum of the dynamic balancing process with 2 planes of correction in a didactic stand with rigid axis, besides improving the theoretical-practical method of the subject. The stand is composed of an electric motor alternating current to a platform, in which axis is coupled to a rotor that can suffer unbalance, through the addition and / or removal of masses. The instruments used to perform this study are a vibration analyzer, a dynamic balancer, as well as a precision scale to weigh the addition masses. In the realization of the experiments, they were able to detect the failures, by means of the vibration levels in the bearings of the measured by the

accelerometer and the frequency of the vibration signal. The equilibrium efficiency was verified by the Fourier transform vibration spectrum.

Key words: Stand; Vibration; Balancing; Didactics.

1 INTRODUÇÃO

As máquinas rotativas estão presentes em diversas aplicações no ramo industrial, e a existência de um elemento rotativo transmitindo potência e apoiado em mancais cria uma série de problemas que pode ser encontrada nas mais diversas máquinas como compressores, turbinas, bombas, motores, centrífugas, geradores, entre outros ⁽¹⁾. O desbalanceamento é um dos principais problemas encontrados nesses equipamentos, o qual aparece devido à distribuição de massa desequilibrada no eixo rotativo ⁽²⁾. Este fenômeno se apresenta devido à distribuição assimétrica de massa, provocando uma vibração elevada no motor. A vibração produzida no desbalanceamento é originada pela força centrífuga que resulta da influência da componente de massa que se encontra deslocada com a aceleração radial devido à rotação, ocorrendo sempre na frequência de rotação da máquina ⁽³⁾.

Existem quatro tipos de desbalanceamento: desbalanceamento estático, binário de desbalanceamento, desbalanceamento semi-estático e desbalanceamento dinâmico ⁽³⁾.

O desbalanceamento estático manifesta-se quando o eixo principal de inércia de um rotor está deslocado, assim a distância entre o centro de gravidade e o eixo de rotação, a excentricidade, origina a força centrífuga ⁽³⁾.

O binário de desbalanceamento acontece no momento em que o eixo principal de inércia corta o eixo de rotação, assim o centro de gravidade é o ponto comum entre eles. Nesse contexto, a presença das massas de desbalanceamento não desloca o centro de gravidade com relação ao eixo de rotação do rotor, porém causa a inclinação do eixo principal de inércia ⁽¹⁾.

O desbalanceamento semi-estático pode ser causado pela combinação dos desbalanceamentos estático e binário. Nesse fenômeno, o eixo principal de inércia corta o eixo de rotação do rotor em um ponto, que não passa pelo centro de gravidade ⁽¹⁾.

A causa mais comum é o desbalanceamento dinâmico, visto que o eixo principal de inércia não encontra o eixo de rotação. As massas encontram-se deslocadas de um ângulo diferente de 180° ⁽³⁾. Como nos outros tipos de desbalanceamento, este tipo também pode ser corrigido com a adição de massas em pelo menos dois planos do eixo de rotação ⁽¹⁾.

Como já foi citada, a massa deslocada do eixo principal de inércia gera forças centrífugas em função da rotação do rotor, e estas forças se somam vetorialmente produzindo esforços, transmitindo a vibração para os mancais da máquina. A vibração gerada pelo desbalanceamento poderá ser acentuada em virtude da característica construtiva do equipamento ⁽¹⁾.

As máquinas rotativas podem ser construídas com 2 tipos de rotores: rígidos ou flexíveis. Considera-se um rotor rígido aquele que apresenta resistência suficiente para não deformar em trabalho. Este tipo de rotor apresenta sua rotação menor do que a primeira velocidade crítica ou frequência de ressonância, facilitando o processo de balanceamento com a utilização de, no máximo, dois planos de correção para a adição das massas ⁽⁴⁾.

O rotor flexível trabalha a uma velocidade de rotação maior ou igual a 70% da primeira crítica. Quanto mais próximo da velocidade crítica, mais o rotor tende a se deformar, correspondendo a esta frequência de ressonância ⁽²⁾. A Figura 1 ilustra, em uma escala ampliada na direção radial, as deformações e transformações de rotor rígido em rotor flexível com o aumento da frequência de rotação.

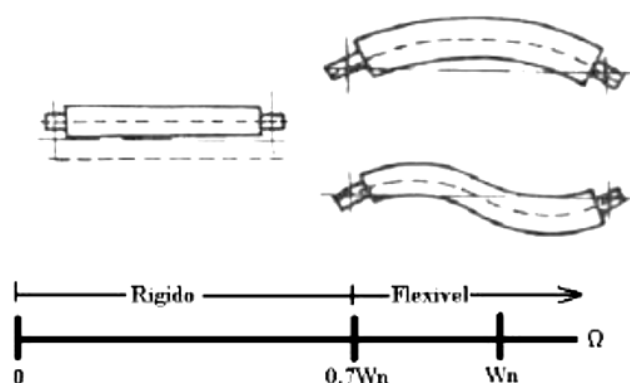


Figura 1. Representação do efeito da flexibilidade de um rotor⁽⁵⁾

O objetivo deste trabalho é analisar o espectro do processo de balanceamento dinâmico com 2 planos de correção em uma bancada didática com eixo rígido, além de aprimorar o método teórico-prático que possa ser utilizada para análises de desbalanceamento dinâmico, caracterização e correção da falha, utilizando a bancada para trabalhar com fins didáticos no Laboratório de Manutenção Mecânica Aplicada do Instituto SENAI de Inovação Soluções integradas em Metalmeccânica.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Diante do objetivo estabelecido, foi desenvolvida, no Instituto SENAI de Inovação Soluções integrada em Metalmeccânica, por alunos do curso Técnico em Mecânica, uma bancada didática para fins demonstrativos de testes e procedimentos experimentais de balanceamento. Este equipamento possui um conjunto de eixo rotativo montado numa estrutura através de dois mancais de rolamentos. O conjunto rotativo possui dois discos igualmente espaçados, representando os 2 planos de correção em rotores, onde são realizados os procedimentos de balanceamento, bem como, também, a adição ou retirada de massas para correção. A transmissão do movimento é feita por um acoplamento rígido, com acionamento por motor elétrico de indução monofásico WEG (1/3 CV, 220 V, 1 A). A Figura 2 exemplifica melhor a Bancada didática com suas características construtivas.

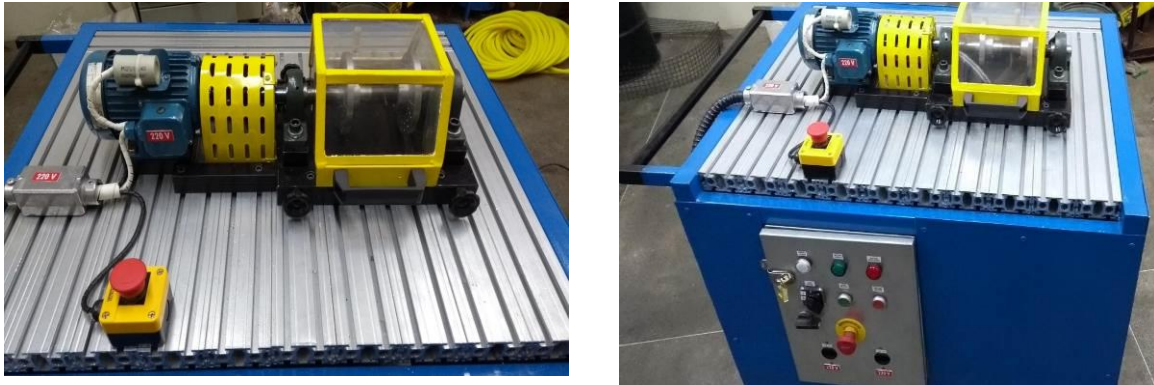


Figura 2. Bancada didática com suas características construtivas

Para a aquisição de dados de vibração da bancada didática antes e após o processo de balanceamento, foi utilizado o Analisador de vibração *FALCON expert* da empresa ONEPROD. Esse equipamento possui um acelerômetro piezelétrico que captará as vibrações geradas pelo equipamento e enviará as informações para o analisador, gerando o espectro de vibração através a Transformada de Fourier.

Para tratamento e informações geradas pelos espectros de vibração, foi utilizado o software NEST 3.0 como apresentando na Figura 4.

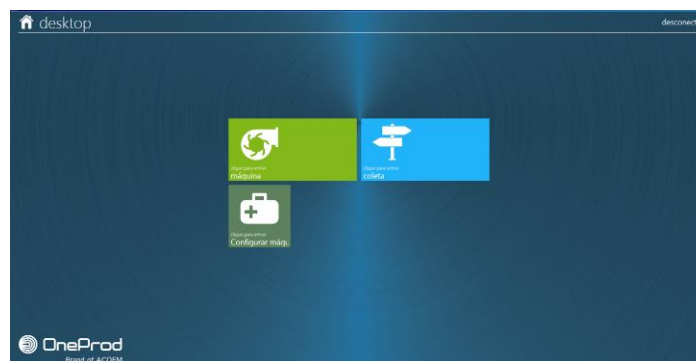


Figura 4. Ambiente do Software NEST 3.0

Para o processo de balanceamento, foi utilizado o Balanceador Dinâmico NK 600 e seus acessórios: um acelerômetro piezelétrico e um sensor óptico para obtenção da rotação do rotor.

No processo de balanceamento com 2 planos de correção foi necessário utilizar o software NK780, desenvolvido pela empresa TEKNIKAO, visto que o NK 600 realiza, sem o auxílio deste software, o balanceamento em somente 1 plano de correção.

Ao realizar o balanceamento dinâmico, foi utilizado um marcador reflexivo no eixo para a medição de rotação do sensor óptico. O sistema é acionado até atingir a rotação nominal do motor elétrico prevista em 1800 RPM, procedimento este evidenciado na Figura 5. Em seguida, é utilizado o acelerômetro do NK 600 para a aquisição de dados e análise dos níveis vibratórios.

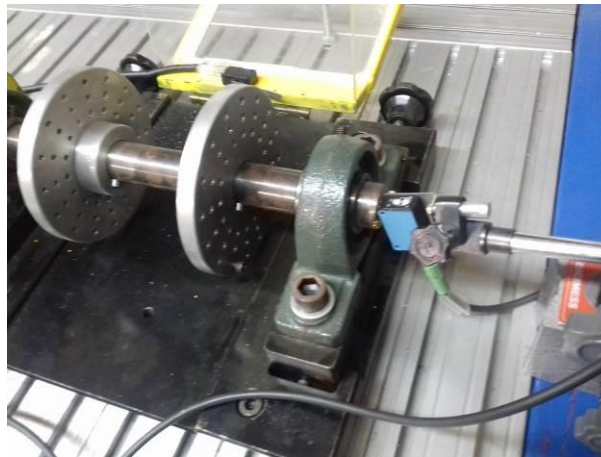


Figura 5 – Posicionamento do sensor optico.

Os sinais de vibrações para todos os dois mancais foram coletados somente na posição horizontal, e analisados se os valores de suas velocidades vibratórias RMS (mm/s) estão dentro dos limites adequados.

A etapa seguinte consistiu em provocar um desbalanceamento controlado adicionando uma massa de teste no disco do lado acoplado na posição a qual foi considerado o ângulo de fase 0° , e registrando as velocidades vibratórias e as fases do desbalanceamento em ambos os mancais. Para determinar o valor adequado da massa de teste foi utilizado a seguinte Eq.(1)⁽⁶⁾.

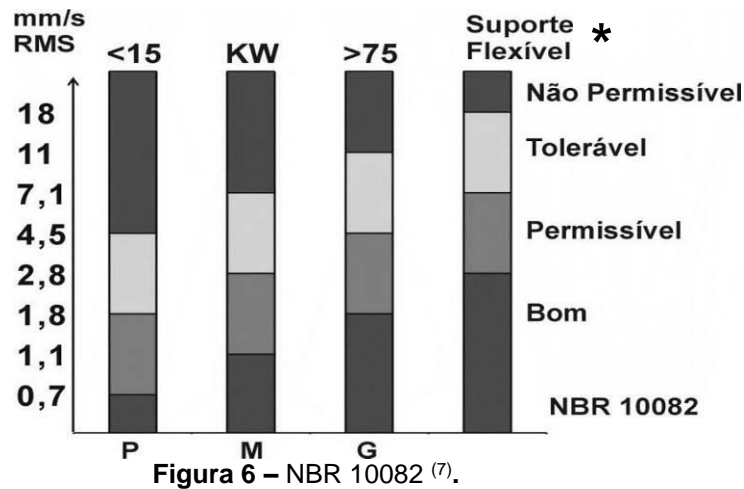
$$MT = \frac{MR * C}{R * n^2} \quad (1)$$

onde é MT é a massa de teste [gramas], MR é a massa do rotor [kg], R é o raio da posição da massa de teste (m), n é a rotação (RPM) e C é a constante para adequar as unidades com valor de 89365,3⁽⁶⁾.

A fim de garantir uma melhor exatidão nas medidas de massa adicionadas para realizar o balanceamento, foi utilizada uma balança analítica de precisão de 0,1 mg.

Para coletar informações do desbalanceamento no disco do lado oposto ao acoplamento, foi seguido o mesmo procedimento já informado. Finalmente, após encontrar os valores da massa balanceadora e ângulo de fase, a massa de “tara” é retirada para realizar o balanceamento final, fazendo com que o sistema retorne aos níveis de vibrações de referência e esteja dentro dos padrões de balanceamento exigidos.

No caso em estudo adotou-se a classificação de acordo com o padrão da norma NBR 10082 para a vibração global, considerando a potência do motor da bancada pertencente ao grupo de máquinas até 15 KW de potência, desta forma adota-se um referencial quando for realizado o balanceamento, como mostrado na Figura 6.



Para o equipamento em condições normais de trabalho, foram utilizados os limites da *Escala P* devido à potência de seu motor, e adotado um limitador de 1,8 mm/s na vibração global em todos os pontos de medição do equipamento.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Dados obtidos antes do balanceamento

Os dados de vibração foram coletados, por meio do acelerômetro, nos mancais do lado acoplado e oposto ao acoplamento (LA e LOA), no eixo acoplado ao motor elétrico. Neste estudo foram consideradas somente as medições na horizontal nos dois mancais, por se tratar de um plano com maior grau de liberdade. A Figura 7 apresenta a Transformada Rápida de Fourier (FFT) do sinal obtido para a situação inicial de verificação, considerando o motor desbalanceado.

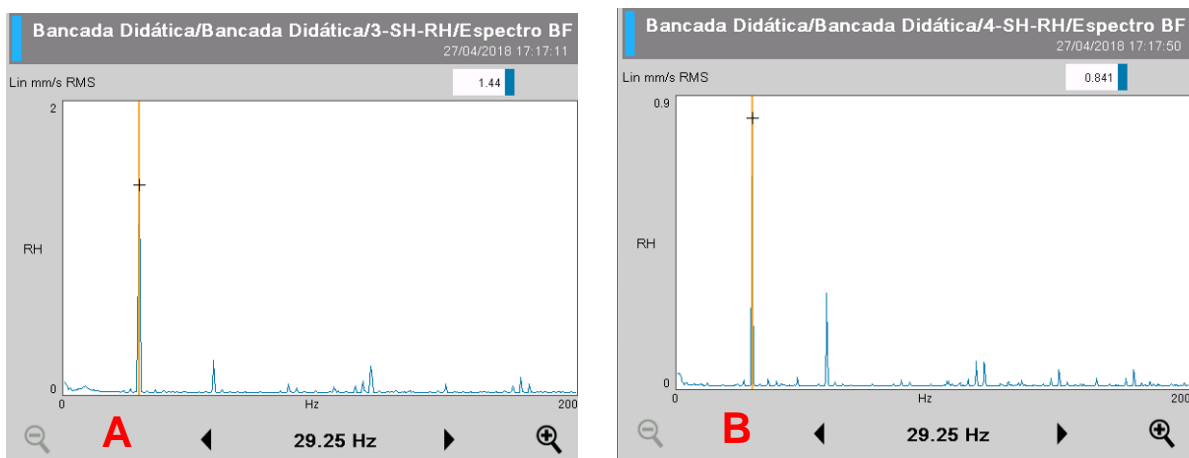


Figura 7 – Espectro de vibração com aplicação da Transformada rápida de Fourier antes do balanceamento. a) Espectro de vibração do mancal do lado acoplado (LA). b) Espectro de vibração do mancal do lado oposto ao acoplado (LOA).

Nas vibrações globais, o mancal do lado acoplado apresentou uma amplitude de 1,58 mm/s, e o mancal oposto ao acoplamento 0,995 mm/s. De acordo com NBR 10082 (7) ambas as vibrações estão no nível permissível de trabalho.

Ao analisar espectros obtidos, nota-se claramente um processo de desbalanceamento, visto que a vibração dominante ocorre na frequência de rotação do rotor, aproximadamente 29,25 Hz. A falha de desbalanceamento pode amplificar outros tipos de falhas, mas pela visualização dos sinais, foi possível afirmar que na simulação somente o defeito por desbalanceamento era significativo na análise deste gráfico, por só ocorrer o harmônico significativo na frequência de rotação do motor.

Observando a Figura 7, ocorre um pico na frequência de rotação de ambos os mancais, sendo no mancal LA uma vibração de desbalanceamento de 1,44 mm/s, e no mancal LOA uma amplitude de 0,841 mm/s. Cabe Salientar que a amplitude na frequência de rotação do motor pode apresentar outras falhas, como por exemplo, eixo empenado, excentricidade e desalinhamento. Cada um desses itens apresenta características distintas que não serão apresentadas nesse estudo.

3.2 Dados obtidos depois do balanceamento

No primeiro passo para o balanceamento, foi adicionada uma massa teste de 14,84 g, em ambos os planos de correção. A partir dos dados de amplitude e fase fornecidos pelo NK 600, o software NK780 estimou a relação de massa e o ângulo de correção. A Figura 8 apresenta a Transformada Rápida de Fourier (FFT) do sinal obtido para a situação do eixo balanceado.

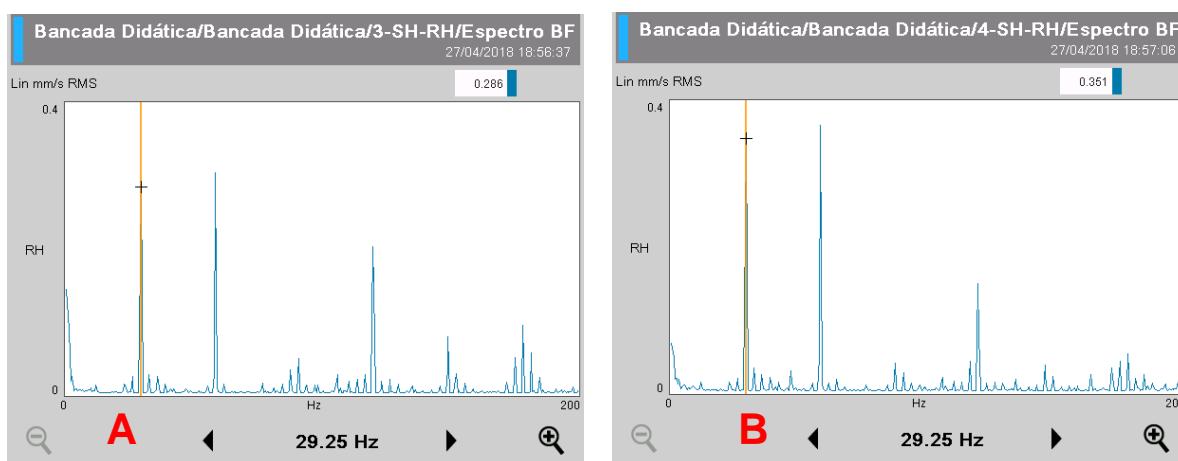


Figura 8 – Espectro de vibração com aplicação da transformada de fourier depois do balanceamento. a) Espectro de vibração do mancal do lado acoplado (LA). b) Espectro de vibração do mancal do lado oposto ao acoplado (LOA).

Nas vibrações globais, o mancal do lado acoplado apresentou uma amplitude de 0,678 mm/s, e o mancal oposto ao acoplamento 0,732 mm/s, apresentando um bom nível de vibração de acordo com a NBR 10082.

Na Figura 8, observa-se um pico na frequência de rotação de ambos os mancais, sendo no mancal LA uma vibração de 0,286 mm/s, e no mancal LOA uma amplitude de 0,351 mm/s. Em ambos os gráficos são apresentadas outras frequências de vibração, que estão apresentadas na Figura 9.

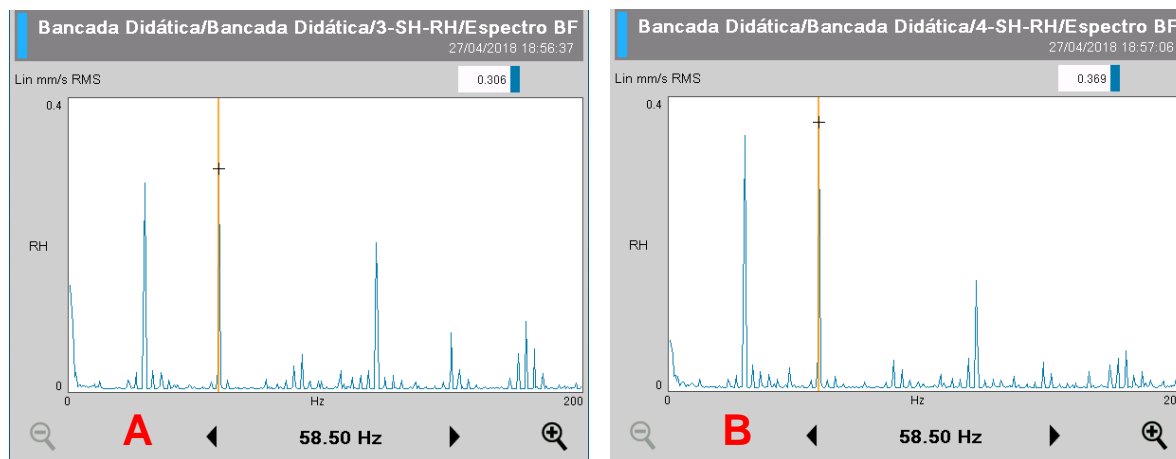


Figura 9 - Espectro de vibração com aplicação da transformada de Fourier depois do balanceamento.
a) Frequência de vibração do mancal do lado acoplado (LA). b) Espectro de vibração do mancal do lado oposto ao acoplado (LOA).

O sinal de vibração analisado através do espectro, representado na Figura 9, mesmo não sendo o tópico deste texto, indica uma falha de desalinhamento, apresentando uma amplitude maior em duas vezes a frequência de rotação podendo ainda apresentar valores relevantes em uma e três vezes a frequência de rotação⁽³⁾.

4 CONCLUSÃO

As máquinas com eixos rotativos podem apresentar índices de falha consideráveis em suas aplicações. Por conta disso, esse trabalho demonstra que a manutenção preditiva é uma ferramenta muito importante para prevenir as possíveis falhas, baseando-se nas alterações das características normais de seu funcionamento. O estudo desenvolvido na bancada didática permitiu realizar a aquisição dos dados para situação normal de funcionamento e para falhas simuladas.

Na análise da falha do desbalanceamento no rotor, foi realizada uma análise dos espectros de frequência dos sinais obtidos. Este tipo de falha produz um harmônico significativo na mesma frequência de rotação do sistema, o que pode ser também verificado com clareza nos resultados obtidos. Atuando como meio de comparação entre o antes e o depois, para a vibração global houve uma redução de aproximadamente 57% no mancal do lado acoplado, e uma diminuição de aproximadamente 26% no mancal do lado oposto ao acoplamento.

Em relação às vibrações encontradas na mesma frequência de rotação em ambos os mancais, a redução foi de 80% no mancal LA e de 58% no mancal LOA. Foi observada, também, mesmo não sendo tópico deste artigo, uma frequência de vibração em 58,50 Hz, representando um possível desalinhamento, apresentando uma amplitude maior em duas vezes a frequência de rotação.

Os resultados obtidos são satisfatórios, demonstrando que a bancada, disponibilizada no Laboratório de Manutenção do Instituto SENAI de Inovação – Soluções Integradas em Metalmeccânica, é uma excelente ferramenta didática para estudo de desbalanceamento dinâmico através da análise de vibração. Com esse recurso é possível simular, calcular e corrigir uma falha de desbalanceamento em dois planos de correção.

Agradecimentos

Ao Instituto SENAI de Inovação em Metalmeccânica, que proporcionou oportunidades de crescimento e conhecimento, e por ter apoiado com os equipamentos para os ensaios. Ao professor Renato Mazzini Callegaro do Instituto Federal Sul Riograndense, que ao ministrar a disciplina de Mecânica Vibratória propiciou a oportunidade de realizar este trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 SOUSA, W. S., “Desenvolvimento de um sistema aplicativo em LabView para o monitoramento de máquinas rotativas com um módulo de balanceamento de rotores”. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Pará – UFPA, Belém do Pará, 2005.
- 2 SOEIRO, N. S., “Balanceamento de rotores”. III Congresso de Engenharia Mecânica Norte-Nordeste, Departamento de Engenharia Mecânica/UFPA, 1994.
- 3 SILVA, Bruna Tavares Vieira da. **Bancada para Análise de Vibração: Análise de falhas em máquinas rotativas**. 2012. 71 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2012.
- 4 MESQUITA, A., 2004. “Identificação de modos operacionais de vibração em máquinas rotativas utilizando coordenadas complexas”, Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP.
- 5 SOEIRO, Newton Sure et al. Desenvolvimento de banca experimental para estudo de dinâmica de rotor e implementação de procedimentos de balanceamento de rotor rígido e rotor flexível. VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Campina Grande, p.1-10, 18-21 ago. 2010.
- 6 TEKNIKAO INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA.. **MANUAL DE OPERAÇÃO: Medidor de Vibrações e Balanceador Dinâmico NK 600**. São Paulo: Teknikao, 2018. 29 p.
- 7 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10082:2011: Ensaio não destrutivo — Análise de vibrações — Avaliação da vibração mecânica de máquinas com velocidades de operação de 600 rpm a 15 000 rpm**. Rio de Janeiro: Abnt, 2011. 9 p.

APLICAÇÃO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E TÉRMICA PARA USO RESIDENCIAL

Oliveira, A. M. C. P.¹

Moraes, C. A. M.²

Kappler, G.³

¹ *Graduanda em Engenharia Civil, Ana Martha Carneiro Pires de Oliveira, Faculdade de Tecnologia e Ciência (FTC Itabuna) anamarthacarneirogarcia@gmail.com*

² *Doutor em Ciências dos Materiais, Carlos Alberto Mendes Moraes, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS) cmoraes@unisinoss.br*

³ *Festo Ambiental, Doutorando no PPGEC – Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS) Genyr Kappler, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS) genyr.kappler@gmail.com*

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

Resumo

O artigo aborda uma revisão sobre a utilização da energia solar como uma fonte alternativa e sustentável, tanto para a geração de energia elétrica, como para o aquecimento de água, para consumo doméstico. Trata-se de uma pesquisa bibliográfica, descritiva e exploratória, cujos objetivos perpassam os conceitos de energia solar, destacando a importância de seu uso, o estudo das tecnologias de conversão energética, as aplicações da energia solar para o consumo doméstico e o potencial que o Brasil possui nesse campo. Ao final da pesquisa são apresentados os benefícios que podem ser obtidos com o uso da energia solar, em que é vantajoso e mais sustentável, causa baixo impacto ambiental e é capaz de suprir inúmeras necessidades, substituindo a energia elétrica em seus diferentes usos. Entretanto, alguns desafios e limitações dificultam uma maior disseminação de seu uso, pois a utilização de sistema de energia elétrica e aquecimento solar são dependentes da implantação de medidas de incentivo nos aspectos técnicos, econômicos, ambientais e sociais.

Palavras-Chave: Energia solar; Captação de energia solar; Sistema fotovoltaico; sistema térmico solar, Sustentabilidade.

APPLICATION OF PHOTOVOLTAIC AND THERMAL SOLAR ENERGY FOR RESIDENTIAL USE

Abstract

This article address a review on the use of solar energy as an alternative and sustainable source, both for electric power generation and for water heating, in domestic consumption. It is a descriptive and exploratory bibliographical research, whose objectives cover the concepts of solar energy, highlighting the importance of its use, the study of energy conversion technologies, solar energy applications for domestic consumption and the potential that Brazil has in this field. At the end of the research are presented the benefits that can be obtained with the use of solar energy, in that it is advantageous and more sustainable, causes low environmental impact and is able to supply numerous needs, replacing the electric energy in its

different uses. However, some challenges and limitations make more difficult to disseminate its use, because that the use of electric energy and solar heating systems are dependent on the implementation of incentive measures in the technical, economic, environmental and social aspects.

Keywords: Solar energy; Solar energy capture; Photovoltaic system; solar thermal system, Sustainability.

1 INTRODUÇÃO

Segundo a revista Ambiente Brasil⁽¹⁾ o Sol é fonte de energia renovável e o aproveitamento desta energia, tanto como fonte de calor, quanto de luz, é uma das alternativas energéticas mais promissoras para o novo milênio.

A ideia de utilizar a energia solar remonta a antiguidade. Alguns historiadores acreditam que Arquimedes incendiou navios romanos concentrando sobre eles raios solares refletidos sobre espelhos. Em 1774, Lavoisier, famoso químico francês, construiu um forno solar com uma lente de aproximadamente 1,5 m de diâmetro e conseguiu obter a temperatura de 1700°C. Segundo Rodrigues⁽²⁾ durante as décadas de 1870 e 1880, John Ericson, engenheiro sueco-americano, propôs um sistema para transformar a energia solar em mecânica. Um dos dispositivos teria produzido mais de uma cavalo-vapor métrico (746 W) para uma superfície coletora de 9,5 m².

O Sol é responsável direto pela manutenção da vida no planeta. Assim, segundo Araújo⁽³⁾ toda vida na Terra depende desta energia. Como fonte de energia para a fotossíntese, o sol fornece toda energia necessária para plantas e animais sobreviverem.

Castro⁽⁴⁾ afirma que o Sol, é um reator que transforma hidrogênio em hélio numa razão de quatro milhões de toneladas por segundo, sendo a sua temperatura de cerca de 6000 °C. É a fonte de energia mais abundante na Terra, sendo cinco mil vezes maiores que o somatório dos outros tipos de energia como a nuclear e a geotérmica, por exemplo. Em menos de uma hora o Sol envia à Terra a energia consumida pela humanidade no período de um ano. O aproveitamento dessa energia gerada pelo Sol, tendo em vista o esgotamento das reservas de energia fóssil para as próximas décadas, torna-se uma das alternativas mais promissoras de recursos energéticos que o homem tem à sua disposição de forma inesgotável na escala terrestre de tempo.

Santos et al.⁽⁵⁾ dizem que a definição mais simples para energia solar é a designação dada a qualquer tipo de captação de energia luminosa vinda do Sol, e posterior transformação dessa energia captada em alguma forma utilizável pelo homem, seja diretamente para aquecimento de água ou ainda como energia elétrica.

Segundo o Ministério de Minas e Energia⁽⁶⁾ sem o Plano Nacional de Energia 2030, para realizar seu planejamento de longo prazo, dois pontos são destacados e ganham relevância para a sociedade: a busca da eficiência energética e o respeito às questões socioambientais.

A energia tornou-se bem indispensável para nossa sobrevivência. A sociedade busca levar esse bem a todos os cidadãos, não importa onde estejam.

Um dos principais motivos da ausência de energia elétrica na vida de milhares de pessoas no mundo é a condição de pobreza aliada à situação de isolamento geográfico em que elas se encontram⁽⁷⁾.

Diegues⁽⁸⁾ diz que mundialmente, o uso da energia solar para a geração de eletricidade vem tomando impulsos e se popularizando cada vez mais em virtude de sua confiabilidade, versatilidade, durabilidade e baixo custo operacional.

Segundo Rodrigues⁽⁹⁾, no Brasil, embora a geração de energia solar ainda seja pequena, estima-se que sejam gerados anualmente cerca de 20 milhões de megawatts hora de eletricidade, o suficiente para abastecer 15 mil residências. Ainda é pouco, visto que o nosso país é um dos mais ricos do mundo em incidência de raios solares. Alguns municípios do Nordeste recebem intensidade de luz solar compatível à registrada em Dongola, no Sudão, o ponto do planeta onde o Sol incide com maior intensidade.

Vários programas vêm sendo executados por meio de parcerias entre instituições públicas e privadas, sempre visando prover diversas comunidades da região em serviços básicos como: iluminação de casas, escolas, creches, abastecimento de água, e, sobretudo, para o bombeamento de água na pequena irrigação de espécies frutíferas⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 O potencial Solar do Brasil

Como descrito anteriormente, é sabido que a energia que o Sol fornece em uma hora para o planeta corresponde ao consumo mundial de energia pelo período de um ano. Dessa forma, o aproveitamento da energia solar torna-se uma das alternativas mais promissoras de recursos energéticos renováveis que o homem tem à disposição⁽¹²⁾.

Segundo Cometta⁽¹³⁾, “A quantidade de energia solar que atinge a Terra em dez dias é equivalente a todas as reservas de combustível conhecidas”.

O Brasil recebe elevados níveis de radiação solar em praticamente todos os meses do ano, inclusive no mês de junho, correspondente ao solstício de inverno para o hemisfério sul.

Com aproximadamente 95% de seu território situado na região intertropical do planeta, o Antunes & Reis⁽¹⁴⁾ afirmam que o Brasil é considerado uma potência em energia solar, principalmente no semiárido nordestino, onde esta fonte energética natural vem possibilitando a integração da população, antes isolada e, ou impossibilitada de usufruir de qualquer outra fonte de energia, e os benefícios da vida moderna.

A Tabela 1, elaborada por Colle & Pereira⁽¹⁵⁾, mostra como é a distribuição média diária da radiação solar global por região do país.

Região	Radiação global
Norte	5.462Wh/m ²
Nordeste	5.688 Wh/m ²
Centroeste	5.630 Wh/m ²
Sudeste	5.478Wh/m ²
Sul	5.015Wh/m ²

Tabela1: Distribuição média diária da radiação global por região do país

Segundo os mesmos autores⁽¹⁶⁾, o índice médio anual de radiação solar é maior na região Nordeste, com destaque para o Vale do São Francisco. É importante ressaltar que mesmo regiões com menores índices de radiação durante os meses do ano, apresentam grande potencial de aproveitamento energético.

O fato de o Brasil possuir muitos recursos hídricos, incentiva a geração de energia hidroelétrica, contudo, as usinas estão localizadas distantes dos centros consumidores, precisando de grandes linhas de transmissão, dificultando o acesso à energia para as comunidades isoladas. Em tais situações, a energia fotovoltaica é uma alternativa técnica e economicamente interessante, quando comparado aos custos necessários para a implantação de linhas de transmissão até essas comunidades⁽¹⁷⁾.

2.2. Captação e Geração de Energia Solar

De acordo com Zoellner⁽¹⁸⁾ os dispositivos utilizados na captação da radiação solar são denominados de coletores solares. Estes coletores são sistemas que empregam a conversão termodinâmica, gerando calor. Já os módulos fotovoltaicos são os equipamentos utilizados para converter a radiação solar em energia elétrica.

A transformação de radiação solar em energia elétrica acontece por dois processos. O primeiro ocorre com a criação de uma diferença de potencial, provocada por dois metais, conectados em condições específicas, sendo a junção PN, que forma um diodo e cria a diferença de potencial, responsável por gerar a corrente elétrica. No segundo, os fótons da luz solar são convertidos em energia elétrica, pelo uso de células solares⁽¹⁹⁾. Entre os processos de uso da energia solar, os mais utilizados são o aquecimento de água e a geração fotovoltaica de energia elétrica. No Brasil, o primeiro é mais comum no Sul e Sudeste, e o segundo, no Norte e Nordeste, em comunidades isoladas da rede de energia elétrica⁽²⁰⁾.

A crise energética brasileira dos últimos anos revela a necessidade de investimentos em energia com resultados rápidos. Além disso, as necessidades energéticas continuarão a crescer e, portanto, a política adotada deve visar o benefício da sociedade e do meio ambiente, pois a preservação deste resulta em uma melhora da qualidade de vida. Neste contexto, para Hohmeyer⁽²¹⁾, a produção de energia elétrica a partir da conversão da energia solar, denominada de energia solar fotovoltaica, ganha destaque por ser simples e rápida de instalar, ser modular, não contaminar o meio ambiente durante seu uso, ser uma fonte de energia inesgotável e grátis, ser silenciosa e necessitar de pouca manutenção.



Fotografia 1 : Pannel Solar Fotovoltaico - Fonte: Dados da Pesquisa

A conversão de energia solar em eletricidade foi verificada por Edmond Becquerel em 1939, mas somente em 1956 é que se iniciou a produção industrial de sistemas fotovoltaicos destinados a atender a demanda energética em satélites artificiais, seguindo-se o desenvolvimento da microeletrônica e da corrida espacial. Porém a crise do petróleo na década de 70 desencadeou o avanço tecnológico impulsionando pesquisas que visavam o uso de módulos fotovoltaicos também no fornecimento de energia para aplicações terrestres em telecomunicações, telemetria, proteção catódica⁽²²⁾⁽²³⁾.

Segundo Beneduce⁽²⁴⁾ A Energia Solar fotovoltaica é a energia obtida por meio da conversão direta da radiação solar em eletricidade (Efeito Fotovoltaico), que resulta da excitação dos elétrons de alguns materiais na presença de luz solar, gerando diferença de potencial e conseqüentemente, corrente elétrica. Galdino⁽²⁵⁾ diz que no entanto, esta disponibilidade varia de acordo com as estações do ano (mínimo no inverno e máximo no verão) e com o clima do local.

Segundo Wolfgang⁽²⁶⁾ no caso do aproveitamento da energia solar na conversão direta em eletricidade é de fundamental importância o correto dimensionamento dos módulos em função da aplicação prevista.

É importante ressaltar que, inicialmente, o desenvolvimento da tecnologia apoiou-se na busca por empresas do setor de telecomunicações de fontes de energia para sistemas instalados em localidades remotas. O segundo agente impulsionador foi a “corrida espacial”. A célula solar era, e continua sendo, o meio mais adequado (menor custo e peso) para fornecer a qualidade de energia necessária para longos períodos de permanência no espaço. Outro uso espacial que impulsionou o desenvolvimento das células solares foi a necessidade de gerar energia para satélites⁽²⁷⁾.

Os sistemas fotovoltaicos fornecem energia elétrica a uma determinada demanda energética, usando como fonte a radiação solar. Portanto, o custo total, resume-se no investimento inicial. Além disso, quase não necessitam de manutenção e são de fácil instalação. No entanto, por depender diretamente das flutuações naturais da radiação solar, a energia elétrica produzida é variável durante o dia e ao longo do ano. Por este motivo, Osis⁽²⁸⁾ afirma que em algumas situações são necessários sistemas de armazenamento de energia.



Fotografia 2 : Paineis Solar Fotovoltaico - Fonte: Dados da Pesquisa

No cenário mundial a maioria dos sistemas fotovoltaicos é conectado à rede convencional, no Brasil até 2010 os programas governamentais priorizavam a instalação de sistemas fotovoltaicos autônomos. Estes sistemas são instalados em comunidade eletricamente isoladas com o objetivo de utilizar a energia como vetor de desenvolvimento social e econômico, facilitando o acesso aos serviços de saúde, educação, abastecimento de água e saneamento⁽²⁹⁾.

Com a resolução normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)⁽³⁰⁾ estabeleceu novos critérios de micro e minigeração distribuída em que incluiu os módulos de geração fotovoltaicos conectados na rede de distribuição oficial por meio de instalações de unidades consumidoras.

O sistema fotovoltaico como fonte auto-sustentável e ecologicamente correto é importante observar que, nas colocações de Osiris⁽³¹⁾, quando o mesmo ressalta que a consciência ecológica para o consumo de energias limpas e necessidade de abastecer locais remotos, distantes das redes de eletricidade de abastecer locais remotos, distante das redes de eletricidade convencionais, não são os únicos fatores de incentivo à energia solar. A descoberta de novas tecnologias mais racionais e baratas faz diminuir os custos destes sistemas. Se gasta cerca de quinze dólares para gerar um watt de potência elétrica a partir de energia solar. Para uma residência média de dois dormitórios, por exemplo, situada a três quilômetros da rede elétrica convencional, é mais barato instalar painéis solares do que ligar à linha elétrica. A energia solar está tornando-se cada vez mais competitiva em relação as hidrelétricas e a tendência é que esse custo de produção diminua ainda mais. No Brasil o uso de energia solar fotovoltaica já é uma realidade que vem a cada ano conquistando novos contextos. Segundo a revista Eletricidade Moderna⁽³²⁾, o uso predial dessa energia passou a ser contemplada pelas resoluções 482/2012 e 687/2015, publicada pela ANEEL com objetivo de regulamentar a micro e minigeração distribuída.

Este tópico conferiu relevância ainda maior na programação da edição do ENIE – Encontro Nacional de Instalações Elétricas, realizado em agosto de 2012 que contou com realização simultânea da Inter-solar South America, a maior feira solar do mundo. Mendes *apud* Eletricidade Moderna⁽³³⁾ enfatiza que o objetivo foi divulgar como essa tecnologia pode ter um bom crescimento no Brasil, seja pelos altos índices de radiação solar no País, seja possibilidade de atender regiões remotas, desprovidas de acesso às redes públicas de distribuição, com energia gerada no local de consumo, seja ainda por que o Brasil possui uma das maiores

reservas mundial de silício, usado na produção de células voltaicas. O mesmo autor⁽³⁴⁾ ressalta ainda que, embora, o país atualmente só produza silício para uso na metalurgia, mas já existem iniciativas para utilizar esta matéria-prima para obter o silício para a captação de radiação solar, que é um silício de alta pureza, com alto valor agregado para a indústria local e para o mercado exportador.

A utilização da energia solar fotovoltaica no âmbito doméstico tem merecido estudos aprimorados na tentativa de torná-la cada vez mais eficiente e vantajoso. Segundo matéria publicada na revista *Eletricidade Moderna*⁽³⁵⁾, as instalações fotovoltaicas estão contribuindo para o aumento do conteúdo de energia renovável na rede. Integrar à rede a fonte flutuante de eletricidade fotovoltaica é um desafio de equilíbrio entre geração de energia, demanda e armazenamento. Ao combinar a capacidade de armazenamento por meio de baterias de íons de lítio ao sistema de geração fotovoltaica, é possível contribuir para atingir parte do equilíbrio necessário oferta e demanda na unidade consumidora. Um equilíbrio pleno que permita um sistema não conectado à rede e independente da mesma.

Com relação ao uso de energia solar destinada ao aquecimento de água para o consumo doméstico, pleiteado nos objetivos deste trabalho, esclarece a CRESESB⁽³⁶⁾, que o equipamento mais popular da tecnologia solar é o coletor solar plano que converte energia solar em energia térmica. O sistema fornece água quente a temperaturas que variam entre 40°C a 60°C atendendo basicamente demanda para uso residencial.

Segundo Szokolay⁽³⁷⁾, os métodos de conversão térmica da energia solar se fundamentam na absorção da energia radiante por uma superfície negra. Toda essa movimentação dos elétrons das moléculas superficiais e naturalmente o calor gerado vai se transmitir, uma parcela as outras partes do corpo pelo fenômeno da condução e o restante volta ao meio ambiente graças aos processos radiantes e às formas de convecção.

Segundo a ABRAVA *apud* ANEEL⁽³⁸⁾ apesar de todo esforço para explicar o aproveitamento de energia solar no aquecimento de água para uso, principalmente, doméstico, a tecnologia do aquecedor solar já vem sendo usada no Brasil desde a década de 60, época em que surgiram as primeiras pesquisas e, em 1973, empresas passaram a utilizá-la comercialmente.

Somente com aquecimento doméstico de água para banho, são gastos anualmente bilhões de kWh de energia elétrica, os quais poderiam ser supridos com energia solar térmica, com enormes vantagens socioeconômicas e ambientais. Mais grave ainda é o fato de que quase toda essa energia costuma ser consumida em horas específicas do dia, o que gera uma sobrecarga no sistema elétrico⁽³⁹⁾.

De acordo com Bezerra⁽⁴⁰⁾ é preciso ainda ressaltar que os custos elevados dos equipamentos solares são decorrentes do preço dos materiais empregados, como por exemplo, chapas e tubos de cobre, vidro plano transparente, material isolante, vedantes, etc. Este fato mostra claramente a necessidade de um maior desenvolvimento da ciência e tecnologia solar, por meio do investimento em pesquisas na área, para que possamos dispor de projetos mais simplificados e de menor custo, tornando-os acessíveis à população como um todo.

Este trabalho, define-se como uma pesquisa bibliográfica descritiva do tipo exploratório. “Na pesquisa descritiva, se observa, registra analisa, classifica e interpreta os fatos, sem que o pesquisador lhes faça qualquer referencia”⁽⁴¹⁾. Segundo Gonçalves⁽⁴²⁾, a pesquisa exploratória proporciona maior familiaridade com o problema, com vista a torná-lo mais explícito uma vez que oferece uma visão panorâmica do fenômeno explorado.

Diehl & Tatim⁽⁴³⁾ afirmam que por se tratar de uma abordagem qualitativa, apresenta maior liberdade teórico-metodológico para realizar o estudo onde os limites da sua iniciativa são fixados pelas condições exigidas a um trabalho científico.

3. Conclusão

O Objetivo deste artigo foi estudar o uso da energia solar, a partir da potencialidade do território brasileiro, como forma de geração de energia elétrica e aquecimento de água para consumo doméstico. Além disso, a partir do entendimento da sua conversão e da utilização do sistema fotovoltaico como fonte de captação de energia solar perceber se tratar de um programa auto-sustentável e ecologicamente correto de eletrificação residencial.

O uso da energia solar para aquecimento de água é extremamente vantajoso no Brasil. Além do país ter uma grande insolação, há fabricantes nacionais que dominam toda tecnologia necessária à captação de energia solar para fins de aquecimento de água.

A utilização desta fonte de energia é vantajosa devido ao baixo impacto ambiental durante o seu uso e ser capaz de suprir inúmeras necessidades, substituindo a energia elétrica ou de combustíveis fósseis. Essa substituição pode ocorrer na iluminação pública, nas residências, no meio rural, e em áreas remotas.

O desenvolvimento das tecnologias para o aproveitamento das energias renováveis poderá beneficiar comunidades rurais e regiões afastadas bem como a produção agrícola através da autonomia energética e consequente melhoria da qualidade de vida dos habitantes.

A utilização de sistema de aquecimento solar é dependente da implantação de medidas de incentivo nos aspectos técnicos, econômicos, ambientais e sociais. Projetos e medidas podem estimular o crescimento dessa tecnologia no Brasil. Apesar dos efeitos favoráveis ao meio ambiente, algumas barreiras impedem sua expansão, principalmente os custos iniciais de instalação, que são considerados ainda bastante elevados quando comparados aos sistemas convencionais de aquecimento.

Ressaltamos que os resultados obtidos neste artigo permitem colocar em evidência que o uso e o aproveitamento da energia solar apresenta diversos benefícios e a longo prazo esta fonte de energia limpa pode se viabilizar como mais uma fonte de energia dentro da matriz energética nacional.

REFERÊNCIAS

- 1 AMBIENTE BRASIL, Energia Elétrica. 2005. Disponível em : www.ambientebrasil.com.br Acesso em julho de 2017
- 2 RODRIGUES, C. Mecanismos regulatórios, tarifários e econômicos na geração distribuída: O caso dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002
- 3 ARAÚJO, Eliete de Pinho. Sol: a fonte inesgotável de energia. Nov. 2014. Disponível em : http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq000/imagens/268_06.jpg&imgrefur=http://. Acesso de julho de 2017.
- 4 CASTRO, Rui M. G. Energias renováveis e produção descentralizada. Nov. 2002. Disponível em : http://www.troquedeenergia.com/Produtos/LogosDocumentos/Introdução_a_Energia_Fotovoltaica.pdf.> Acesso em julho de 2017.

- 5 SANTOS, Augusto Cezar da S.; SANTOS, Marcos Paulo de Lima e SILVA, Samila Batista da Os benefícios do uso de painéis solares para o meio ambiente. Bolsista de Valor. Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense v.1, p. 373 -376, 2010.
- 6 BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Plano Nacional de Energia 2030/ Ministério de Minas e Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília : MME:EPE, 2007.
- 7 PINHO, J. T., et al. Sistemas Híbridos. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008. p. 21
- 8 DIEGUEZ, F. Luz no Fim do Túnel. Tecnologia antiapagão. Superinteressante. São Paulo n. 6, p. 16-17, 2001.
- 9 RODRIGUES, C. Mecanismos regulatórios, tarifários e econômicos na geração distribuída: O caso dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002
- 10 BENEDUCE, F. C. A. Energia Solar fotovoltaica sem mistérios. Fortaleza: Banco do Nordeste, 1999.
- 11 IDER- INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS. Resumo de aplicações técnicas no Brasil com energia solar fotovoltaica de 1993 a 2003. Projetos – Aplicações Técnicas. Fortaleza. Disponível em: <http://www.ider.com.br/htm>. Acesso em julho de 2017.
- 12 CRESESB- Centro de Referência para a Energia Solar Eólica Sérgio de Salvo Brito. 2005. Energia Solar. Disponível em <http://www.cresesb.cepel.br>. Acesso em julho de 2017.
- 13 COMETTA, Emilio. Energia Solar utilização de Empregos Práticos. São Paulo: Hemus, 1998. p. 7
- 14 ANTUNES, L. M., REIS, L. R., Gerência agropecuária: análise de resultados. Guaíba: Agropecuária, 1998.
- 15 COLLE, S.; PEREIRA, E. B. Atlas de radiação solar do Brasil: In: MONTENEGRO, Alexandre Albuquerque (Org.). Fontes não convencionais de energia: as tecnologias solar, eólica e de biomassa/organização e edição: 3ª ed. rev. modificada e ampliada _ Florianópolis: 2000. p.97
- 16 COLLE, S.; PEREIRA, E. B. Atlas de radiação solar do Brasil: In: MONTENEGRO, Alexandre Albuquerque (Org.). Fontes não convencionais de energia: as tecnologias solar, eólica e de biomassa/organização e edição: 3ª ed. rev. modificada e ampliada _ Florianópolis: 2000.
- 17 BRASIL. Ministério de Minas e Energia do Brasil. Programa Luz para todos. 2005. Disponível em :< <http://www.mme.gov.br>> Acesso em julho de 2017.
- 18 ZOELLNER, KLAUS. A incidência da utilização do chuveiro elétrico na geração de água quente nas edificações. Dissertação de Mestrado em Habilitação Planejamento e Tecnologia. Instituto de pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. São Paulo, 2005.
- 19 CERPCH – Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Elétricas. Fontes Renováveis: energia Solar. 2012. Disponível em <http://www.cerpch.unifei.edu.br/exibir_rev.php?id=50> Acesso em julho de 2017.
- 20 CERPCH – Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Elétricas. Fontes Renováveis: energia Solar. 2012. Disponível em <http://www.cerpch.unifei.edu.br/exibir_rev.php?id=50> Acesso em julho de 2017.
- 21 HOHMEYER, O. Os custos sociais de eletricidade de fontes renováveis, versus energia fóssil e nuclear. Jornal Energia Solar, vol. 11, p. 231 – 250, 1992.
- 22 CRESESB- Centro de Referência para a Energia Solar Eólica Sérgio de Salvo Brito. 2005. Energia Solar. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br>> Acesso em julho de 2017.

- 23 IDER- INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS. Resumo de aplicações técnicas no Brasil com energia solar fotovoltaica de 1993 a 2003. Projetos – Aplicações Técnicas. Fortaleza. Disponível em: <<http://www.ider.com.br/htm>> Acesso em julho de 2017.
- 24 BENEDEUCE, F. C. A. Energia Solar fotovoltaica sem mistérios. Fortaleza: Banco do Nordeste, 1999.
- 25 GALDINO, M. Perguntas mais frequentes sobre energia solar. 2003. Disponível em: <<http://www.cresesb.com.br>> Acesso em julho de 2017.
- 26 WOLFGANG, P. Energia Solar e Fontes Alternativas. São Paulo Pioneira, 1994.
- 27 CRESESB- Centro de Referência para a Energia Solar Eólica Sérgio de Salvo Brito. Informe Técnico, Rio de Janeiro, v. 2, n. 1, jun. 1996. Disponível em: <www.cresesb.cebel.br/Publicacoes/informe2.htm> Acesso em julho de 2017.
- 28 OSIS, Luiz Roberto. Alimentação de motores para refrigeração de motores para refrigeração doméstica utilizando Energia Solar Fotovoltaica. (Monografia). Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras. Pós- Graduação Lato Sensu em Formas Alternativas de energia. Lavras – MG. 2007.
- 29 BRASIL. Ministério de Minas e Energia do Brasil. Programa Luz para todos. 2005. Disponível em : <<http://www.mme.gov.br>> Acesso em julho de 2017.
- 30 ANEEL- Agencia nacional de Energia Elétrica. Resolução normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015. Disponível em : <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>> Acesso em 13 de setembro de 2018.
- 31 OSIS, Luiz Roberto. Alimentação de motores para refrigeração de motores para refrigeração doméstica utilizando Energia Solar Fotovoltaica. (Monografia). Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras. Pós- Graduação Lato Sensu em Formas Alternativas de energia. Lavras – MG. 2007.
- 32 ELETRICIDADE MODERNA – Energia Fotovoltaica e normalização técnica serão destaque no encontro. Aranda Editora, ano 40, n. 460, p. 92-97 julho de 2012.
- 33 Mendes apud ELETRICIDADE MODERNA – Energia Fotovoltaica e normalização técnica serão destaque no encontro. Aranda Editora, ano 40, n. 460, p. 92-97 julho de 2012.
- 34 Mendes apud ELETRICIDADE MODERNA – Energia Fotovoltaica e normalização técnica serão destaque no encontro. Aranda Editora, ano 40, n. 460, p. 92-97 julho de 2012.
- 35 ELETRICIDADE MODERNA – Energia Fotovoltaica e normalização técnica serão destaque no encontro. Aranda Editora, ano 40, n. 460, p. 92-97 julho de 2012.
- 36 CRESESB- Centro de Referência para a Energia Solar Eólica Sérgio de Salvo Brito. Informe Técnico, Rio de Janeiro, v. 2, n. 1, jun. 1996. Disponível em www.cresesb.cebel.br/Publicacoes/informe2.htm. Acesso em julho de 2017.
- 37 SZOKOLAY, S.V. Energia Solar e Edificações. São Paulo: Cortez, 1991.
- 38 ANEEL- Agencia nacional de Energia Elétrica, Energia Solar. 2007. Disponível em : <[http://www.aneel.gov.br/aplicações/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicações/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf)> Acesso em julho de 2017.
- 39 ABRAVA apud ANEEL- Agencia nacional de Energia Elétrica, Energia Solar. 2007. Disponível em : <[http://www.aneel.gov.br/aplicações/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicações/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf)> Acesso em julho de 2017.
- 40 BEZERRA, Arnaldo Moura. Aplicações Térmicas da Energia Solar, 3ª ed. João Pessoa: Editora Universitária, 1998.
- 41 PRESTES, Maria Luci de Mesquita. A pesquisa e a construção do conhecimento científico: do planejamento aos textos, da escola à academia. 2 ed. ver. Atual. E ampl. São Paulo: Rêspel, 2003. p. 26
- 42 GONÇALVES, E. P. Iniciação à Pesquisa Científica. São Paulo:Alínea, 2003.
- 43 DIEHL, A. A. E TATIM, D. C. Pesquisa em Ciências Sociais Aplicadas. São Paulo: Prentice hall, 2004.

APLICAÇÃO DE LEAN OFFICE NO SETOR DE ESTÁGIOS DO IFSUL

De Barba Jr, D.J.¹

Kuhn, L. Q.²

Bork. C.A.S.³

¹ Doutor, Durval João De Barba Junior, IFSul, debarbajr@sapucaia.ifsul.edu.br.

² Engenheiro, Leonardo de Quadros Kuhn, leonardo.qkuhn@gmail.com

³ Doutor, Carlos Alberto Schuch Bork, IFSul, bork@sapucaia.ifsul.edu.br.

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

Resumo

Com o sucesso da Toyota, mesmo em um Japão devastado pelo pós Segunda Guerra Mundial, surgiu o interesse em entender como os japoneses estavam administrando seu negócio e gerando tanta lucratividade. A partir desses estudos, apresentou-se o conceito de “lean” que trata de uma forma de pensamento enxuto, voltado à redução de desperdícios e aumento da produtividade no ambiente fabril por meio de ações de reorganização de processos e aplicação de ferramentas simples e objetivas, envolvendo pouca utilização de recursos naturais e financeiros. Mais recentemente, iniciou o processo de migração desses conceitos para os ambientes administrativos, chamado de “lean office”. Esse movimento migratório do pensamento enxuto para os ambientes administrativos está sendo implementado aos poucos nas empresas brasileiras e existem relatos de aplicações cada vez mais recentes em Universidades por todo o mundo. Seguindo essa tendência, o presente artigo busca explicar todos os conceitos básicos sobre a aplicação do pensamento enxuto em um ambiente administrativo, fazendo uso da metodologia de mapeamento de fluxo de valor. Visando a redução nos tempos entre as etapas do fluxo, elencaram-se as melhores ideias alinhadas a mentalidade lean para reorganizar o processo da forma mais adequada e eficiente, como: a utilização de um formulário online, a implementação de assinaturas eletrônicas, o emprego de Kanban e a criação de planos Kaizen.

Palavras-chave: Lean. Pensamento Enxuto. Lean Office. Ambiente Administrativo.

APPLICATION OF LEAN OFFICE IN THE IFSUL STAGE SECTOR

Abstract

Due to Toyota's success, even in a post-World War II, interest arose in understanding how the Japanese were managing their business and generating so much profitability. From these studies, the concept of "lean" was presented, which deals with a lean thinking, aimed at reducing waste and increasing productivity in the factory environment through actions of reorganization of processes and application of simple and objective tools, involving little use of natural and financial resources. More recently, it began the process of migration of these concepts to the administrative environments, called "lean office". This migratory movement from lean thinking to administrative environments is being gradually implemented in Brazilian companies and there are

reports of increasingly recent applications in universities around the world. Following this trend, the present article seeks to explain all the basic concepts about the application of lean thinking in an administrative environment, making use of the value flow mapping methodology. Looking at reducing the times between the stages of flow, the best ideas aligned with the lean mentality were reorganized to reorganize the process in the most adequate and efficient way, such as: the use of an online form, the implementation of electronic signatures, the employment of Kanban and the creation of Kaizen plans.

Key words: Lean; Thought Thin; Lean Office; Administrative Environment.

1 INTRODUÇÃO

O grande objetivo do pensamento enxuto é eliminar desperdícios e proporcionar um fluxo de processos que tenha a melhor produtividade possível com a utilização da menor quantidade de recursos⁽¹⁾.

Sem dúvidas um dos maiores conhecedores e críticos de desperdícios dentro das organizações foi Taichi Ohno. Segundo ele, todas as atividades humanas que consomem recursos, sejam eles financeiros, tempo, energia, e não acrescenta algo ao produto que o cliente esteja disposto a pagar, podem ser consideradas desperdício. Ohno elencou os sete principais desperdícios dentro das organizações, são eles: defeito, superprodução, inventário, processo inadequado, movimentação, transporte de mercadorias e espera⁽¹⁾.

Pensando em diminuir esses desperdícios, Ohno implementou uma filosofia a Toyota que futuramente viria a ser chamada de pensamento enxuto. O pensamento enxuto (*lean thinking*) é uma forma de especificar valor e alinhar os processos para que ocorra o menor índice de desperdícios possíveis. Sendo assim, o pensamento enxuto busca alinhar o processo para que ele ocorra da melhor forma possível utilizando a menor quantidade de recursos possíveis⁽¹⁾.

Um dos ambientes onde existe maior oportunidade de aplicação dos conceitos de produção enxuta é no escritório. Entre 60% e 80% de todos os custos que envolvem o atendimento das demandas dos clientes é oriundo de processos administrativos, como por exemplo, notas fiscais, ordens de serviço e cotações⁽²⁾.

Até onde se tem registros, não existe nenhum histórico de aplicação dos conceitos *lean* dentro da instituição de ensino que será objeto de estudo. Apesar de se tratar de um órgão público e gratuito, possui muito espaço para aplicação de *lean*, dentro do ambiente educacional em questão, visando facilitar o trabalho dos servidores, além de agilizar e garantir a qualidade dos serviços oferecidos aos alunos.

O presente estudo tem por objetivo geral propor a implantação das ferramentas de *lean office* no Setor de Estágios do Instituto Federal Sul-Rio-Grandense, Campus Sapucaia do Sul.

Segundo Oliveira⁽³⁾, é possível ainda identificar e classificar os desperdícios no escritório em mais formas:

Alinhamento de objetivos: É toda a energia gasta envolvendo trabalhos com objetivos sem clareza e o esforço necessário para corrigir os problemas gerados e produzir o resultado esperado.

Atribuição: É o esforço necessário para completar uma atividade inapropriada e dispensável.

Processamento: É o trabalho não executado da forma ideal.

Controle: É o esforço gasto com monitoramento que não produz melhoria de desempenho.

Variabilidade: É o recurso necessário para corrigir uma atividade que varia do esperado.

Alteração: É o esforço gasto para mudar um processo sem o conhecimento suficiente para prever as consequências da mudança e o esforço para reparar essas possíveis consequências.

Estratégia: É o valor gasto para implementar processos de curto prazo que não agregam valor ao cliente e ao investidor.

Confiabilidade: É o esforço gasto para correção de resultados não previstos e com causas anônimas.

Padronização: É o esforço gasto por trabalhos não realizados da melhor e mais eficiente forma possível.

Agenda: É a má programação e utilização do tempo disponível.

Processos informais: São os recursos gastos para manter operantes processos informais que por algum motivo substituam processos padrões.

Fluxo irregular: São os recursos gastos para manter materiais e informações acumuladas entre fluxos.

Checagens desnecessárias: Esforço gasto para inspeções e retrabalho.

Informação perdida: São os recursos gastos para recuperar ou compensar alguma informação chave que tenha sido perdida.

Falta de integração: Esforço utilizado para transferir material ou informação em uma organização que não está completamente integrada entre seus setores.

Irrelevância: São os esforços empregados para lidar com informações desnecessárias.

Inexatidão: É o esforço gasto com informações incorretas.

Falta de Foco: É a falta de atenção e comprometimento do funcionário com a atividade.

Vale ressaltar que, não necessariamente, todos os desperdícios serão encontrados em todos os fluxos, porém é preciso ter um referencial básico sobre todas as possibilidades para que a identificação dos desperdícios seja mais fácil. Nem sempre os desperdícios podem parecer tão óbvios e que muitas vezes as ferramentas para eliminação dos mesmos deverão ser adaptadas para cada processo, pois a variabilidade dos fluxos em escritórios é de grande complexidade⁽³⁾.

Para que ocorra a aplicação correta dos conceitos de pensamento enxuto no escritório, é conveniente conhecer algumas principais ferramentas que ajudam a aplicar essa ideia. Tapping e Shuker⁽²⁾ apresentam alguns exemplos de ferramentas aplicáveis ao ambiente do escritório: Mapeamento de fluxo de valor, FIFO (*First In, First Out*), *Takt Time*, Kanban. Fluxo Contínuo e Trabalho Padronizado:

Um caso apresentado por Herzog⁽⁴⁾ foi a empresa Bosch, que a partir do mapeamento do fluxo de valor, percebeu as inúmeras circulações de informações entre as áreas envolvidas que não agregavam valor. Como solução para os problemas foram aplicadas várias técnicas para redução do tempo, com o intuito de se tornar o fluxo contínuo e sem paradas. A Bosch utilizou os conceitos em diversas unidades e promoveu melhorias em 32 processos administrativos.

Segundo Wilde⁽⁴⁾ as etapas a serem seguidas para a aplicação da ferramenta de mapeamento de fluxo de valor seriam, primeiramente, selecionar os produtos que serão estudados e avaliados, após isso, mapear a situação em que o ambiente se encontra, na sequência, mapear a situação futura e, por último, propor melhorias. No entanto, no desenvolvimento deste trabalho a sequência sofreu uma alteração, pois primeiramente selecionou-se os itens a serem avaliados, se propôs melhorias e, após isso, mapeou-se de que forma essas mudanças podem impactar no processo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A primeira etapa para a implementação de um mapeamento de fluxo de valores é a descrição da organização, alvo de estudo. A instituição de ensino escolhida foi um órgão federal localizado na cidade de Sapucaia do Sul – RS. A instituição ainda conta com outras 14 sedes, sendo que sua reitoria está localizada na cidade de Pelotas – RS. São oferecidos diversos cursos técnicos integrados, técnicos modalidade proeja, superiores e de pós-graduação pela instituição, diversidade que garante determinada complexidade de seus processos, principalmente nos quais ocorrem interações com a reitoria.

Como uma segunda etapa, deve-se executar a caracterização da área estudada. Sendo assim, o estudo teve foco no Setor de Estágios, área que demonstrou grande interesse da realização de uma maior padronização e melhoria de seus processos, principalmente devido à grande rotatividade de colaboradores do setor. Além disso, o espaço físico em que se localiza este setor é compartilhado com outros setores, gerando complexidade e falta de compreensão das rotinas e limitações, tanto por parte dos servidores como dos alunos.

Após faz-se propriamente a aplicação da ferramenta de mapeamento de fluxo de valores. A aplicação da metodologia, segundo Tapping e Shuker⁽²⁾, deve ser dividida em oito etapas: (1) Comprometer-se com o *lean*; (2) Escolher o fluxo de valor; (3) Aprender sobre *lean*; (4) Mapear o estado atual; (5) Identificar as métricas *lean*; (6) Mapear o estado futuro; (7) Criar planos Kaizen; e (8) Implantar planos Kaizen.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a obtenção dos resultados do trabalho proposto, foram seguidos os oito passos propostos por Tapping e Shuker⁽²⁾ para o mapeamento do fluxo de valor, conforme citado na Metodologia.

3.1 Comprometer-se com o *lean*

Para que o objetivo traçado fosse alcançado, foram executadas reuniões com a Coordenação do Setor de Estágios, onde foram apresentadas a proposta de trabalho e a metodologia *lean* que seria aplicada dentro do ambiente de estágios.

É de extrema importância que as lideranças dos setores, onde se deseja aplicar o pensamento *lean*, estejam alinhados com a metodologia e com os benefícios que a mesma pode oferecer. Só dessa forma será possível que a liderança crie um ambiente de envolvimento genuíno dos seus colaboradores para atingir os melhores resultados⁽⁵⁾.

3.2 Escolher o fluxo de valor

Após obter apoio da coordenação do setor de estágios, foi dado início ao processo de definição do fluxo a ser trabalhado. Por meio de conversas com todas as pessoas envolvidas do setor de estágios, chegou-se a uma primeira conclusão de qual deveria ser o fluxo analisado. Neste caso, o fluxo escolhido, como objeto de estudo, foi o de TCEs (Termos de Compromisso de Estágio) obrigatórios.

3.3 Aprender sobre *lean*

Escolhido o fluxo, iniciou-se a etapa de treinamento das pessoas envolvidas no processo. O Setor de Estágio divide o seu espaço físico com alguns outros setores do Campus, fato que acaba por vezes gerando alguma demanda do fluxo escolhido a outras pessoas que não fazem parte desse setor, por estarem localizadas a vista dos alunos que adentram no espaço físico. Sendo assim, decidiu-se aplicar um treinamento a todos os funcionários envolvidos no espaço físico, a fim de facilitar o entendimento da mudança de cultura que o *lean* acarretará no fluxo dos TCEs e instigar os demais colaboradores do Campus a aplicar a metodologia nos mais diversos setores administrativos.

Com o treinamento, objetivou-se imergir os colaboradores do IFSul na cultura *lean*, a fim de que os mesmos possam aplicar o pensamento enxuto em seu dia a dia, e não somente na atividade em questão. Essa aplicação dessa metodologia em universidades vem crescendo muito fora do Brasil, inclusive tendo-se encontros anuais de universidades de todo o mundo que começaram a aplicar esse pensamento em seus processos administrativos. Conscientizando os colaboradores será possível tornar não só o processo escolhido enxuto, mas tornar os colaboradores e a instituição em questão referências nesse tipo de aplicação no país, visto que existe pouquíssimo histórico de trabalhos nesse segmento⁽⁶⁾.

3.4 Mapear o estado atual

Para esta etapa, realizou-se uma reunião com as pessoas envolvidas no fluxo dos TCEs, para uma definição precisa dos limites de atuação do fluxo. Para isso, elaborou-se um fluxograma do processo atual estudado. Após análise do fluxograma chegou-se a conclusão de que o fluxo poderia ser dividido em 2 partes: (1) estágios realizados dentro do IFSul e (2) estágios realizados em instituições externas. Quanto à prioridade, verificou-se que o fluxo de estágios obrigatórios dentro do IFSul era o mais complexo e com maior número de reclamações de alunos, devido à pouca disponibilidade de vagas da instituição e lentidão no processo. Sendo assim, decidiu-se focar o estudo no fluxo dos TCEs obrigatórios realizados dentro da instituição de ensino, abrangendo a partir do momento em que o aluno demonstra interesse por estagiar até o momento de assinatura do TCE.

Antes da realização do mapeamento convencional, demonstrou-se interessante realizar um mapeamento do fluxo em sua trajetória pelos diversos departamentos, com o objetivo de tornar mais visual a distribuição das atividades do fluxo, conforme demonstra a Figura 1.

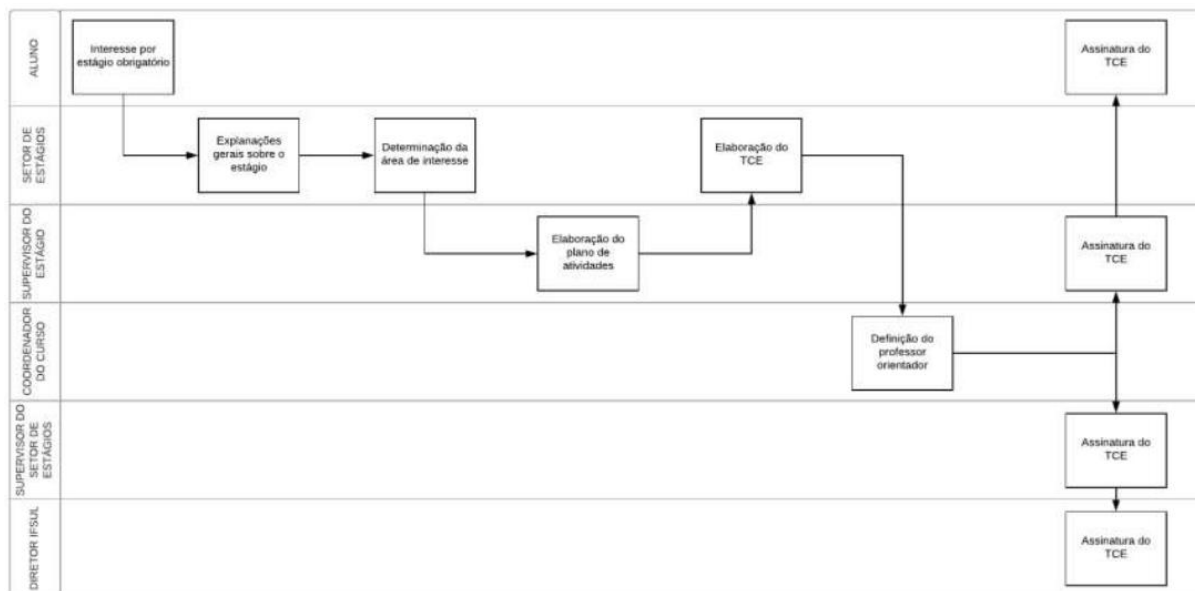


Figura 1: Mapa de fluxo de valor TCE entre departamentos.

Com a realização desse mapeamento, pode-se analisar mais claramente a forma com que o processo se distribui pelos diversos setores envolvidos e que ocorre interação com outras áreas da instituição. Observa-se, também, que existe uma interação com pessoas dos cargos administrativos mais elevados da instituição, ponto de possível fragilidade do processo, visto que tende a ser mais disputado o tempo dessas pessoas.

Apesar de o mapeamento entre setores e o fluxograma do processo serem ótimos pontos de partida para a análise do fluxo, é necessário que se faça o mapeamento completo do fluxo de valor para que se identifique os pontos de maior fragilidade do processo com mais precisão.

A Figura 2 mostra o mapeamento completo do fluxo de valor do processo de elaboração dos Termos de Compromisso de Estágio do IFSul. Com essa ferramenta

é possível analisar como funciona a interação dos setores envolvidos no processo, quais suas funções e sua relevância, a fim de que se possa elaborar uma estratégia para reestruturar o processo de uma forma mais adequada.

Para a elaboração do mapeamento da Figura 2, acompanhou-se um dos meses de maior demanda do setor, para obter as informações precisas sobre o volume de demanda, volume de oferta de vagas e a quantidade de alunos em filas de espera. A partir desse acompanhamento determinou-se uma amostragem de 5 casos, onde foram feitos os acompanhamentos completos, desde o primeiro contato do aluno com o fluxo até a entrega do TCE em suas mãos.

Após uma análise crítica no mapeamento, percebe-se que o aluno que deseja realizar o estágio é ao mesmo tempo fornecedor e cliente no processo, pois é dele que são recebidas as informações e a ele é entregue o termo de compromisso ao final do processo. Além disso, observa-se que a solicitação do aluno pode ocorrer tanto presencialmente como via telefone ou e-mail. Entretanto, quando ocorre de forma não presencial um passo é acrescentado no processo, pois da forma atual como está organizado, somente são aceitas inscrições presenciais.

Durante o início do processo, nota-se também que ocorre grande aquisição de informações verbais. Esse fato pode gerar ruídos de comunicação, colocando em dúvida a acuracidade das informações coletadas, como apresentado no segundo passo do processo.

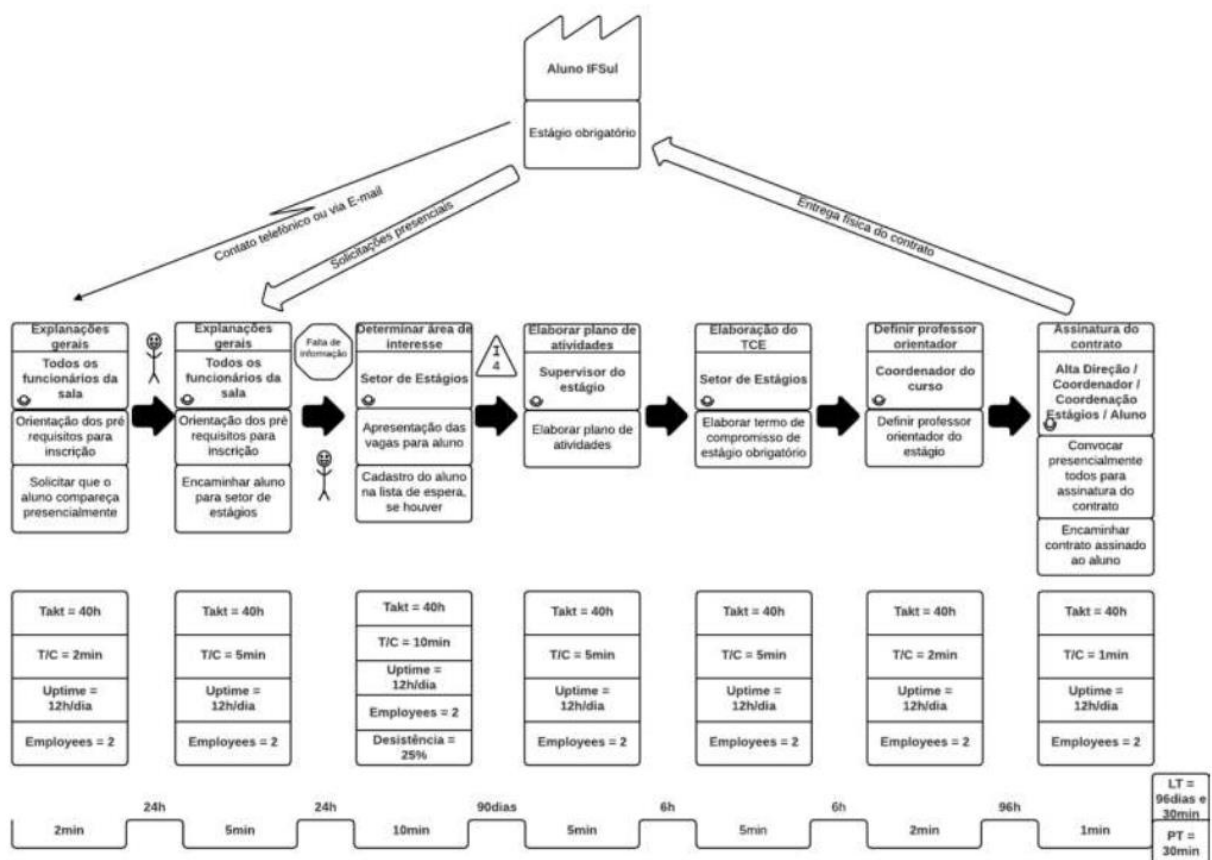


Figura 2: Mapeamento de Fluxo de Valor Atual TCEs.

Outro ponto relevante refere-se ao volume de solicitações quando comparado à disponibilidade de vagas. Existe uma demanda que em geral é mais alta do que a quantidade de vagas ofertadas pela instituição. Sendo assim, é possível analisar que há uma fila de espera por vagas que, apesar de existir, por muitas vezes não é respeitada devido à preferência dos responsáveis por cada vaga em determinados alunos. O acompanhamento dessa fila de espera e ordem da fila é feito por meio de planilhas que também não apresentam completa confiabilidade, ocasionando em média um tempo de espera de 90 dias para os alunos continuarem o fluxo.

Por fim, outro ponto crítico do processo se refere à assinatura do TCE pelos responsáveis da instituição. Esse processo se estende devido à falta de disponibilidade desses responsáveis em alguns casos, pois trata-se de um processo que nem sempre é prioritário em suas rotinas.

3.5 Identificar as métricas *lean*

Para a identificação de quais métricas *lean* seriam utilizadas como base para o acompanhamento das melhorias sugeridas no processo, foram utilizadas algumas métricas padrão no mapeamento.

A primeira métrica utilizada foi o Tempo *Takt*, que é o tempo do ritmo do cliente, sendo o tempo mínimo unitário para processar a demanda do cliente e atender sua necessidade. O cálculo dessa métrica foi apresentado anteriormente. A segunda métrica utilizada foi o Tempo de Ciclo (T/C), que é o tempo necessário para realizar determinada etapa do processo. A terceira métrica foi o *Uptime*, que significa o tempo de atividade, sendo o tempo disponível do setor para realização das tarefas. Neste caso é de 12h (das 8h às 20h). Por fim, apresenta-se o número de colaboradores disponíveis. No caso do setor de estágios, existem dois colaboradores com a carga horário de funcionamento do setor dividida entre si.

Além dessas métricas convencionais, utilizou-se uma linha temporal abaixo das caixas de processo, indicando os tempos de processo (*Process Time*, ou PT) e o *Lead Time* (tempo de espera) total do processo, que é a soma do PT com os tempos entre os processos.

Após avaliar o T/C médio das atividades e o *Uptime* e Tempo *Takt* do processo, observou-se que o maior problema do fluxo não é a falta de tempo dos colaboradores para sua realização, e sim as barreiras burocráticas e falta de distribuição uniforme das vagas no fluxo, gerando filas de espera intermináveis, ocasionando em 25% dos casos a desistência da realização do estágio na instituição.

Sendo assim, definiu-se focar em uma única métrica, a redução do *Lead Time*. Para isso, é necessário reorganizar o fluxo e a forma como as atividades são distribuídas para tentar amenizar o impacto das filas de espera aos alunos, ocasionadas principalmente pelos tempos excessivos de espera entre os processos do fluxo de valor.

3.6 Mapear o estado futuro

Após identificada a principal fonte de entraves no processo, realizou-se mais uma reunião com os colaboradores envolvidos e levantaram-se ideias para melhorias no fluxo.

Esse levantamento, elencaram-se as melhores ideias alinhadas a mentalidade *lean* para reorganizar o processo da forma mais adequada e eficiente, visando a redução nos tempos entre as etapas do fluxo. Com isso, chegou-se ao resultado apresentado na Figura 3.

3.6.1 Formulário Online

Seguindo os princípios *lean* de propor melhorias que envolvam pouco investimento financeiro e que sejam as mais simples possíveis⁽²⁾, as principais ideias escolhidas para aplicação foram as seguintes:

Durante as primeiras etapas do fluxo, notava-se uma grande deficiência na qualidade com que as informações eram colhidas, juntamente aos alunos, e na falta de preparação dos colaboradores de outros setores na orientação dos alunos que ligavam a fim de se informar sobre o processo. Sendo assim, adotou-se a implementação de um formulário online para cadastro do interesse dos alunos em vagas de estágio. Com essa ferramenta, é possível colher todas as informações necessárias para o processo e facilitar o trabalho de orientação de qualquer colaborador junto aos alunos (Figura 3).

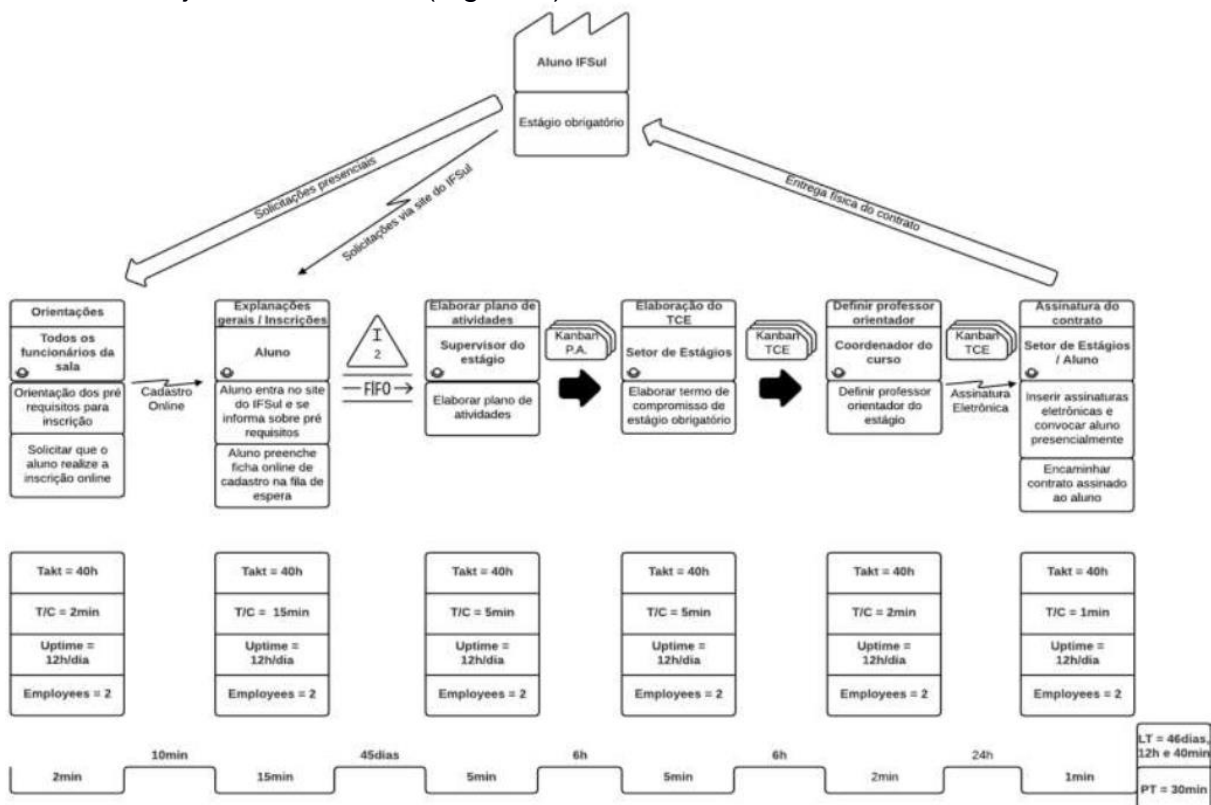


Figura 3: - Mapeamento do Fluxo de Valor Futuro TCEs.

Além disso, esse formulário online objetiva acabar com outro problema que se faz presente no fluxo, a falta de respeito à fila de espera de vagas, por parte dos supervisores de estágio. Essa rotina de desregramento à fila era embasada no fato de os supervisores não terem as informações necessárias dos candidatos quanto às suas capacitações, tornando necessário que o próprio supervisor tomasse a decisão

de escolher um aluno de sua preferência para a realização do estágio, por não poder realizar a consulta se existia outro aluno apto na fila de espera.

Com a implementação do formulário, todas as informações necessárias aos supervisores e colaboradores do setor de estágio serão de preenchimento obrigatório por parte do aluno, além de existir uma listagem de todas as vagas disponíveis com seus pré-requisitos, para que o aluno possa fazer uma triagem própria e candidatar-se apenas para as vagas de seu interesse e sua competência.

Essa ideia tem como base as ferramentas *lean* FIFO (*First In First Out*), apresentada anteriormente⁽²⁾, e tem por objetivo atender as demandas na ordem em que as mesmas surgem, visando sempre a uniformidade no atendimento ao cliente para que não ocorram picos de espera por parte do aluno. Outra ferramenta aplicada com esse formulário é a de fluxo contínuo⁽⁷⁾, pois cria-se um ambiente em que o fluxo é “puxado” e o mesmo encontra-se sempre disponível para receber a informação do processo anterior no momento em que é preciso. Por fim, também se aplica a ferramenta de trabalho padronizado, visto que a criação de um formulário base com preenchimento obrigatório de todas as informações torna a obtenção das informações padronizada e sem retrabalhos⁽⁸⁾.

3.6.2 Assinatura Eletrônica

Outro ponto de grande impacto no fluxo é a etapa de assinatura do Termo de Compromisso. Buscou-se uma solução para essa deficiência e verificou-se a existência de assinaturas eletrônicas dos docentes do Campus, fator com grande potencial de auxílio nesse caso, pois no estado atual é necessário que o Termo passe fisicamente por quatro pessoas para validação.

Com a proposta de implementação das assinaturas eletrônicas, estima-se que esse fluxo de validação se resuma somente ao aluno e ao setor de estágios, podendo ser assinado em uma única etapa presencial para as vagas pré-aprovadas da instituição. Quanto às vagas pré-aprovadas, pode-se definir como tal todas as vagas padrões de estágio da instituição que possuam editais e que o aluno, selecionado para a vaga, possua todos os requisitos necessários para a mesma, havendo apenas a necessidade da assinatura das autoridades para fins de registro.

Essa ideia baseia-se principalmente no fluxo contínuo, pois torna o fluxo cada vez mais “puxado”, de forma que a matéria prima (assinatura) estará sempre disponível quando necessária, diminuindo cada vez mais as filas de espera por aprovações e homogeneizando o andamento do fluxo⁽⁷⁾⁽⁸⁾.

3.6.3 Kanban

Além da assinatura dos TCEs, outros processos também exigem a presença física dos envolvidos para a continuidade do fluxo, como a elaboração do plano de atividades e elaboração do TCE.

Visando reduzir esses tempos de espera, chegou-se à ideia de implementação de Kanban nesses processos, empregando a ferramenta nas assinaturas dos TCEs também, como segunda opção de otimização do processo, caso não fosse possível a utilização do processo de assinaturas eletrônicas. A aplicação do Kanban no processo ocorreria por meio de alguma identificação visual de fácil acesso aos envolvidos nos

processos, a ser definida na etapa de planos Kaizen e de forma a tornar visível e “incomoda”, aos olhos dos envolvidos, as demandas em aguardo de alguma ação de sua responsabilidade⁽⁸⁾.

3.7 Criar planos Kaizen

Após a identificação dos principais pontos de melhoria, levantados pelos participantes do fluxo, e ideias para melhorias desses pontos, iniciou-se a etapa de distribuição das atividades necessárias para colocar essas ideias em prática.

A elaboração de um formulário online para a padronização da entrada das solicitações de inscrição na fila de espera das vagas de estágio ficou de responsabilidade para o autor desse trabalho. Além disso, a viabilização da utilização das assinaturas eletrônicas, já existentes dentro da instituição de ensino, no processo de assinatura dos termos de compromisso de estágio obrigatório ficou destinada à coordenação do setor de estágios.

Por fim, para a implementação do Kanban nos processos, definiu-se que seriam utilizadas pastas de cores variadas, alocadas nos escaninhos que os servidores do IFSul possuem e que estão localizados em um local de grande circulação, tornando as demandas as mais visíveis possíveis. Essas pastas devem ser divididas em 3 cores: verde, representando demandas alocadas a menos de 6 horas; amarelo para demandas com mais de 6 horas de aguardo; vermelho para demandas com mais de 48 horas de espera.

Além disso, definiu-se que é necessário existir um movimentador do Kanban, onde uma pessoa fica responsável por checar e realizar a movimentação dos documentos nas pastas, sendo esse uma das pessoas mais importantes no processo. O movimentador deve ter pelo menos dois momentos de checagem diários das pastas Kanban com intervalos de no máximo 6 horas, a fim de manter o padrão das etapas de urgência.

3.8 Implantar planos Kaizen

Para a implementação do formulário online, utilizou-se uma ferramenta gratuita de uma grande companhia de sites de busca e e-mail. O formulário elaborado é composto de 9 campos para preenchimento, sendo eles: nome, e-mail, número de matrícula na instituição, turma ou semestre de conclusão do curso, telefone, conhecimento no pacote Office, período de disponibilidade para realização do estágio, escolha de vagas e informação se é pessoa com deficiência.

4 CONCLUSÃO

O fluxo escolhido para a aplicação da metodologia foi o de Termos de Compromisso de Estágio, fato que tornou mais difícil a aplicação e acompanhamento dos resultados das iniciativas de mudança do fluxo sugeridas. O surgimento de vagas e inscrições nas filas de espera dos estágios obrigatórios no IFSul possuem uma grande taxa de sazonalidade, tendo grandes picos de demanda durante as primeiras semanas de cada semestre letivo. Sendo assim, o acompanhamento dos resultados

da aplicação das mudanças propostas no fluxo, juntamente com possíveis novas sugestões em função do comportamento dos alunos ao se deparar com as mudanças propostas, só é possível após um acompanhamento anual dos resultados.

Por esse motivo, o presente artigo teve por objetivo a validação e exposição da metodologia de mapeamento de fluxo de valor em ambientes administrativos, sem a necessidade de se limitar a resultados comparativos e palpáveis, pois é possível notar que as ideias propostas, a partir da aplicação do mapeamento, são simples, sem grandes aportes financeiros e diretas, exatamente da forma que se espera uma aplicação *lean*.

REFERÊNCIAS

- 1 WOMACK, J.P.; JONES. D.T. A mentalidade enxuta nas empresas – elimine desperdício e crie riqueza. Rio de Janeiro: Campus, 2004.
- 2 TAPPING, D; SHUKER, T. Gerenciamento do fluxo de valor para áreas administrativas – 8 passos para planejar, mapear e sustentar melhorias Lean nas areas administrativas. Primeira Edição, São Paulo: Leopardo Editora, 2010.
- 3 OLIVEIRA, J.D. Escritório Enxuto. [Online] 2007. Disponível em: <<http://www.lean.org.br>> Acesso em: JUN 2017.
- 4 WILDE, Joici R. Metodologia para Implantação do Lean Manufacturing em Laboratórios de Calibração. 2010. 102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Instituto Superior Tupy, Unisociesc, Joiville, Santa Catarina.
- 5 BALLÉ, M.; LAVAUZELLE, B.C.; MÉDINA, R. Why real kaizen and innovation start with leadership. 2017. [Online]. Disponível em: <<http://planet-lean.com>>. Acesso em: JUN 2018.
- 6 RUNYAN, V. Lean na educação superior: melhorando a Macquarie University. 2017. [Online]. Disponível em: < <https://www.lean.org.br>>. Acesso em: JUN 2018.
- 7 NARUSAWA, T. Kaizen Express: fundamentos para a sua jornada lean. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2009.
- 8 ROTHER, M.; SHOOK, J. Aprendendo a Enxergar: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar desperdício. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2003.

ASSOCIAÇÃO DE TANINO E TEOS NA PASSIVAÇÃO DO AÇO GALVANIZADO

Bezerra, B.F.A.¹

Meneguzzi, A.²

¹ Eng. Bruno Felipe Andrade Bezerra, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, bbruno_bezerra@hotmail.com

² Dr. Álvaro Meneguzzi, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, alvaro.meneguzzi@gmail.com

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

Resumo

Uma vez que revestimentos a base Cr+6 são tóxicos e cancerígenos, os revestimentos a base de tanino e base de silano são promissoras alternativas em aços galvanizados. Neste estudo foi avaliada a aplicação de revestimentos a base de tanino, a base de silano (TEOS) e a combinação dos mesmos em camadas alternadas, variando o pH. Os ensaios que foram realizados foram os ensaios de Câmara Úmida, Névoa Salina e EDS. Os resultados mostraram que quando o revestimento foi usado em camadas alternadas houve um aumento da resistência à corrosão, tendo melhor desempenho quando comparado com os mesmos revestimentos a base de tanino e silano usados isoladamente. Como são revestimentos mais ecológicos, os resultados são promissores e positivos.

Palavras-chave: tanino, silano, aço galvanizado, corrosão.

ASSOCIATION OF TANINN AND TEOS IN THE PASSIVATION OF GALVANIZED STEEL

Abstract

Since Cr + 6 base coatings are toxic and carcinogenic, tannin and silane based coatings are promising alternatives in galvanized steels. In this study the application of tannin based coatings, silane based (TEOS) and the combination of them in alternating layers, varying the pH, was evaluated. The tests that were carried out were the Wet Chamber, Salt Spray and EDS analysis. The results showed that when the coating was used in alternating layers there was an increase in corrosion resistance, having better performance when compared to the same tannin and silane based coatings used alone. As they are greener coatings, the results are promising and positive.

Key words: tannin, silane, galvanized steel, corrosion.

1 INTRODUÇÃO

Os metais têm excelentes propriedades mecânicas, como tenacidade e resistência mecânica. O grande problema do uso dos metais está na corrosão que acontece nos mesmos. A corrosão causa danos nos equipamentos e muitas vezes quando ocorrem paradas para trocar ou restaurar equipamentos que sofreram corrosão, perdas produtivas (1).

Devido às características anticorrosivas, além das já mencionadas excelentes propriedades dos metais, se destaca o aço galvanizado, sendo muito usado em diversos setores da indústria justamente pela sua proteção contra a corrosão. Para prolongar ainda mais a vida útil do aço galvanizado se faz primeiro um tratamento com um revestimento de conversão a base de cromato porém se busca alternativas para este revestimento pois o mesmo é tóxico e cancerígeno (2).

O tanino vem sendo estudado recentemente como uma alternativa a revestimentos a base de cromato, pois o mesmo se trata de um composto natural ecologicamente aceitável. Os taninos quando usados como primer anticorrosivo no aço comum e quando comparado a novos tratamentos para o combate a corrosão apresenta menor custo (3).

Outra alternativa menos danosa ao meio ambiente que os revestimentos a base de cromatos são os revestimentos a base de silanos, dentre deles se destaca o TEOS, por sua propriedade anticorrosiva e baixo custo (4).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais Utilizados

Os materiais utilizados para as amostras foram os seguintes:

- Chapas de aço galvanizado fornecido pela ;
- Tanino de Acácia, Weibull, fornecido pela Tanac S.A.;
- Cromatizante trivalente 680, fornecido pela Surtec;
- Água Deionizada;
- Desengraxante Saloclean 667N, fornecido pela Klintex;

2.2 Preparo das Soluções

A solução de tanino foi feita com a concentração de 2 gramas de tanino dissolvidos em 1 litro de água deionizada. A solução ficava em agitação por uma hora para ser totalmente diluída. Os pHs da soluções de tanino utilizados foram 4.5, 5.5 e 6.5, e foram ajustados com ácido acético ou óxido de sódio.

A solução de TEOS foi feita com a proporção de 2% em volume do silano TEOS, 49% em volume de água deionizada e 49% de etanol. A solução ficou uma hora em agitação e 71 horas em repouso. Os Os pHs da soluções de

TEOS utilizados foram 4.5, 5.5 e 6.5, e foram ajustados com ácido acético ou óxido de sódio.

2.3 Preparo das Amostras

As chapas de aço galvanizado foram limpas inicialmente com acetona, lavadas com detergente e água corrente, e em seguida imersas na solução de desengraxante de concentração 70g/L a uma temperatura de 70°C por 10 minutos, sendo lavadas após com água deionizada. Foi realizado o teste de quebra d'água para verificar se as peças estavam bem desengraxadas e após elas foram secas com jato de ar quente antes de serem imersas nas soluções de tanino e TEOS.

Foi feito revestimentos com camada alternada de Tanino/TEOS/Tanino sobre o aço galvanizado, os métodos de deposição foram os mesmos utilizados quando se usou somente um destes.

A obtenção dos revestimentos se deu pelo método de imersão, as velocidades de descida e subida da chapa de aço galvanizado foram ambas de 420 mm/min.

O revestimento de tanino teve o tempo de imersão de 15 minutos e secagem ao ar livre. O revestimento de TEOS foi feita a imersão em 60 segundos por 3 vezes consecutivas e após foi realizada a cura em uma estufa à 100° C por uma hora. O revestimento de Cr+3 foi feito com a imersão por 60 segundos e com a temperatura da solução a 60°C com posterior secagem ao ar livre.

2.4 Nomenclatura das Amostras

A Tabela 1 mostra as diferentes amostras confeccionadas no trabalho e os códigos que foram utilizados para cada amostra.

Tabela 1: Nomenclatura das amostras

Código	Descrição do revestimento
BR	Peça sem revestimento
CR	Cr+3
TE4.5	TEOS com pH 4.5
TE5.5	TEOS com pH 5.5
TE6.5	TEOS com pH 6.5
TA4.5	Tanino com pH 4.5
TA5.5	Tanino com pH 5.5
TA6.5	Tanino com pH 6.5
TA4,5/TE4,5	Revestimento com camadas alternadas de Tanino/TEOS/Tanino, ambos com pH 4,5
TA5,5/TE5,5	Revestimento com camadas alternadas de Tanino/TEOS/Tanino, ambos com pH 5,5
TA6,5/TE6,5	Revestimento com camadas alternadas de Tanino/TEOS/Tanino, ambos com pH 6,5

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O ensaio de Névoa Salina é realizado em uma câmara fechada com névoa de solução de 5% em massa de NaCl em água destilada a 35°C, atendendo a norma ABNT NBR 8094. A Figura 1 mostra que a amostra revestida com TEOS com pH 5,5 obteve a melhor resistência a corrosão do lado da peça revestida com Cr+3. A peça revestida com TEOS com pH 6,5 obteve a mesma resistência a corrosão do que a peça sem revestimento.

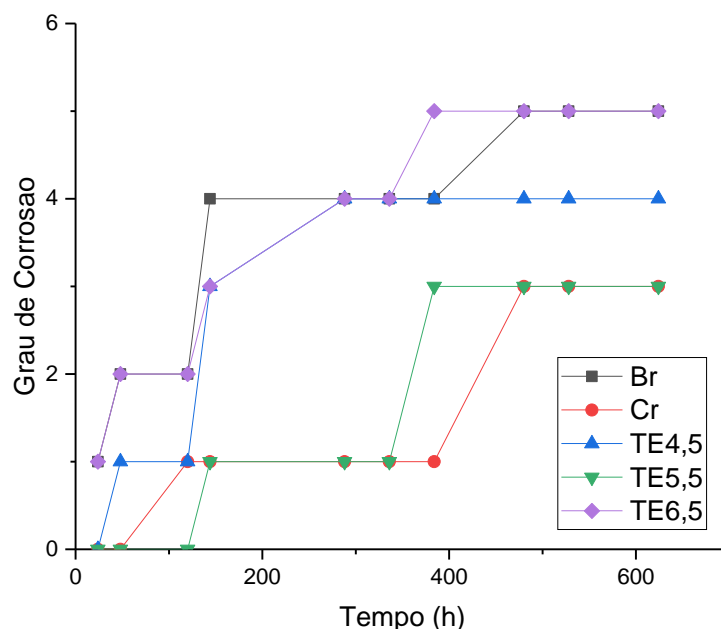


Figura 1: Gráfico da evolução do grau de corrosão com o tempo nas amostras revestidas com TEOS com diferentes pHs, sem revestimento e cromatizadas no ensaio de névoa salina.

A Figura 2 mostra que as amostras revestidas com tanino não conseguiram ter o mesmo desempenho que as amostras revestidas com CR+3, inclusive a amostra revestida com TEOS e pH 6,5 obteve a mesma resistência a corrosão que a amostra sem revestimento.

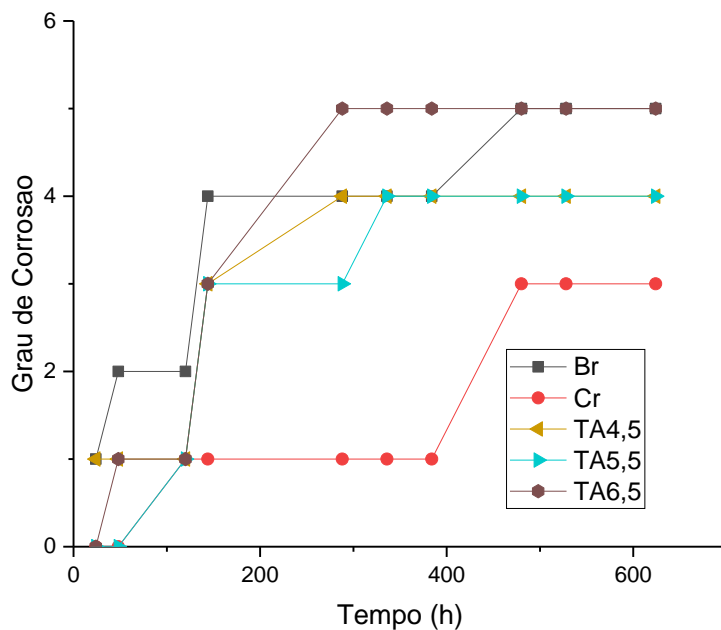


Figura 2: Gráfico da evolução do grau de corrosão com o tempo nas amostras revestidas com Taninos com diferentes pHs, sem revestimento e cromatizadas no ensaio de névoa salina.

A Figura 3 mostra que dentre os revestimentos que tiveram as camadas alternadas, os que tiveram o mesmo desempenho que o revestimento cromatizados foram os com pH de 4,5 e 5,5. Novamente quando o pH utilizado foi de 6,5 a amostra obteve a mesma resistência a corrosão quando comparada com a amostra sem revestimento.

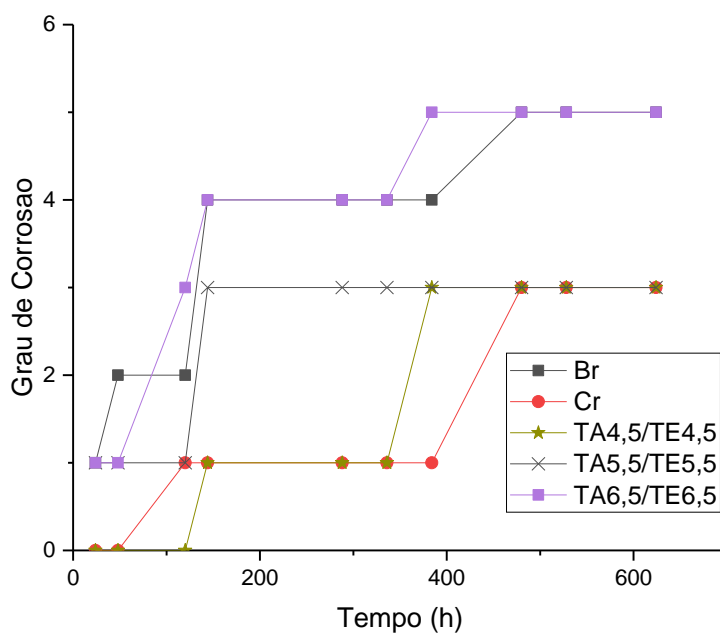


Figura 3: Gráfico da evolução do grau de corrosão com o tempo nas amostras revestidas com camadas alternadas de Tanino/TEOS/Tanino com diferentes pHs, sem revestimento e cromatizadas no ensaio de névoa salina.

O ensaio de corrosão em câmara úmida foi realizado de acordo com a norma ABNT NBR 8095, o ensaio é realizado em um ambiente onde a umidade relativa é de 100% e à temperatura de 38°C. A Figura 4 mostra que com o avanço do tempo na câmara úmida as amostras revestidas com Cr+3 e com TEOS em pH 6,5 e 5,5 obtiveram menor resistência a corrosão, mesmo desempenho que a amostra sem revestimento. As amostra revestidas com TEOS em pH 4,5 obteve o melhor desempenho contra a corrosão ao longo do tempo.

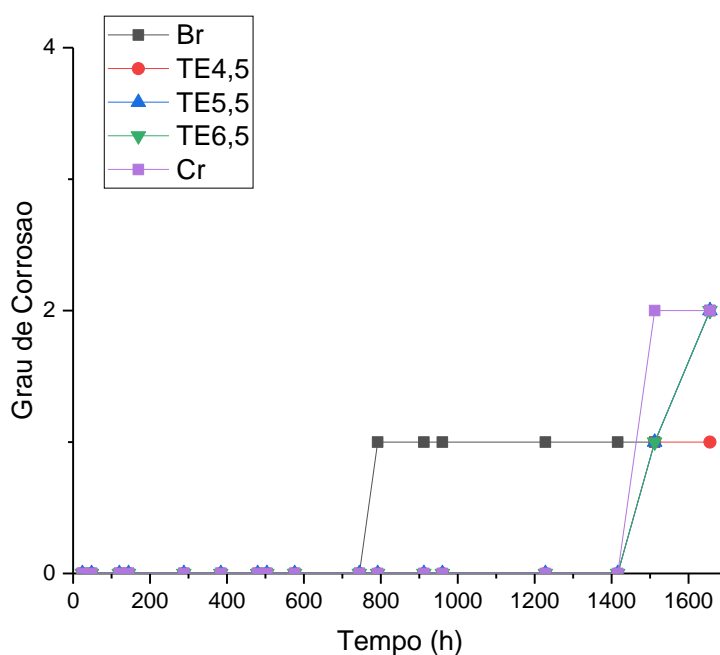


Figura 4: Gráfico da evolução do grau de corrosão com o tempo nas amostras revestidas com TEOS com diferentes pHs, sem revestimento e cromatizadas no ensaio de câmara úmida.

A Figura 5 mostra que com o avanço do tempo na câmara úmida a amostra revestida com Tanino em pH 6,5 obteve a menor resistência a corrosão. As amostras revestidas com Tanino em pH 4,5 e 5,5 obtiveram o mesmo desempenho contra a corrosão comparando com as amostras sem revestimento e com revestimento de Cr+3.

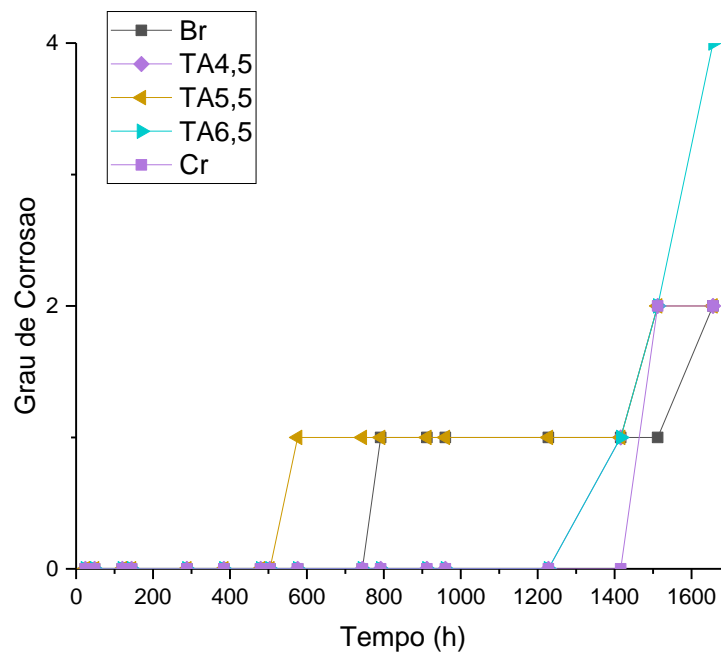


Figura 5: Gráfico da evolução do grau de corrosão com o tempo nas amostras revestidas com Taninos com diferentes pHs, sem revestimento e cromatizadas no ensaio de câmara úmida.

A Figura 6 mostra que quando foi usado camadas alternada para fazer os revestimentos nas amostras de aços galvanizados a grau de corrosão não avançou para as amostras que tiveram o ph do Tanino e do TEOS fixados em 4,5 e 5,5, mesmo quando o pH dos mesmos foi de 6,5 a amostra obteve melhor desempenho contra a corrosão que as amostras sem revestimento e com revestimento a base de cromato.

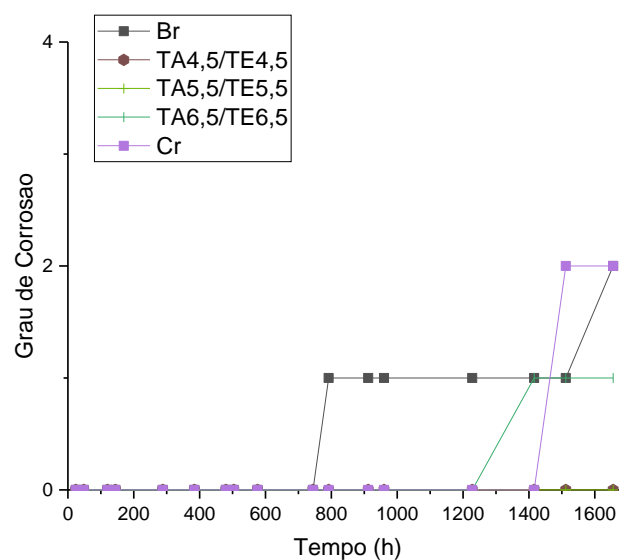


Figura 6: Gráfico da evolução do grau de corrosão com o tempo nas amostras revestidas com camadas alternadas de Tanino/TEOS/Tanino com diferentes pHs, sem revestimento e cromatizadas no ensaio de câmara úmida.

Os ensaios de Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS) foram realizados com tensão de 15kv. As Figuras 7 e 9 verificaram que as peças revestidas em pH 6,5 obtiveram as menores % Atômicas de Silício, pode-se supor que houve uma menor interação do Silano TEOS com o aço galvanizado e/ou tanino.

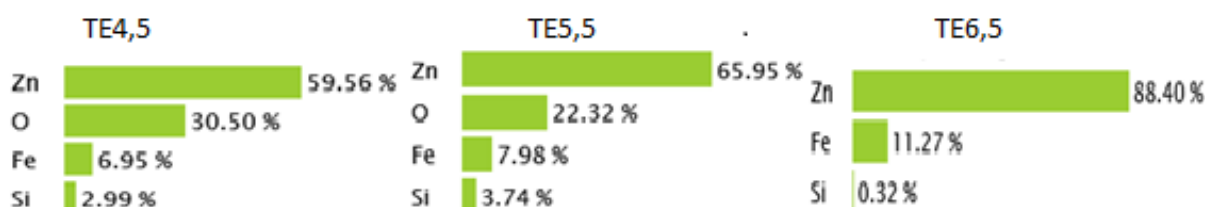


Figura 7: % Atômica pela técnica de EDS das amostras revestidas com TEOS em diferentes pHs.

A Figura 8 mostra que houve pouca interação do Tanino com o aço galvanizado.

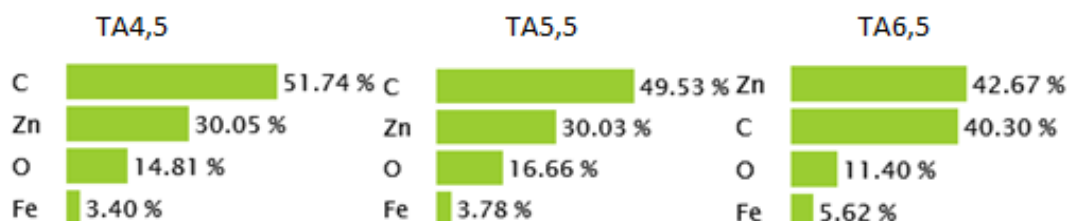


Figura 8: % Atômica pela técnica de EDS das amostras revestidas com Taninos em diferentes pHs.

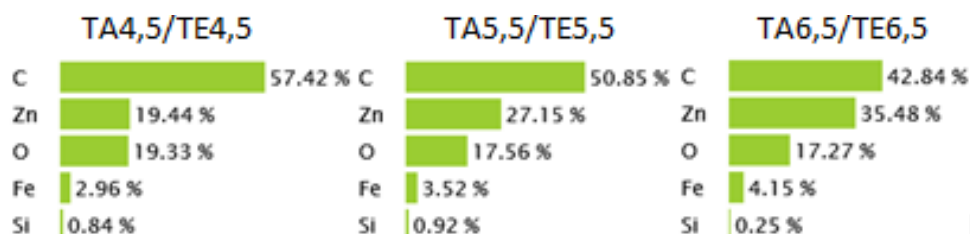


Figura 9: % Atômica pela técnica de EDS das amostras revestidas com camadas alternadas de Tanino/TEOS/Tanino em diferentes pHs.

4. CONCLUSÃO

- No ensaio de Névoa Salina todos os revestimentos que tiveram seu pH fixado em 6,5 obtiveram menor resistência a corrosão quando comparados com os outros revestimentos.
- No ensaio em Câmara Úmida o uso de camadas alternadas mostrou resultados promissores, mostrando ser uma melhor proteção contra a corrosão quando comparado com o uso de tanino e TEOS usados de forma isoladas, porém as amostras precisam ser avaliadas em tempos maiores.
- Na análise do EDS entende-se que houve pouca interação do TEOS em pH 6,5 com Tanino e/ou aço galvanizado.
- Na análise de EDS nota-se que houve uma dificuldade em formar um revestimento sobre o aço galvanizado do Tanino com pH 6,5.
- As camadas alternadas se mostraram uma ótima alternativa ao revestimento de Cr+3.

Agradecimentos

Ao CNPQ pela bolsa de mestrado concedida ao autor, ao LACOR – Laboratório de Corrosão, Proteção e Reciclagem de Materiais – pela infra-estrutura oferecida às práticas do trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] Vicente Gentil. Corrosão, 6ª edição. 2011.
- [2] J. FERREIRA, R. S. T. Revestimento a base tanino para substituição de cromatização em aço galvanizado. In: 4o CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIAS PARA O MEIO AMBIENTE. Bento Gonçalves – RS, Brasil: 2014.
- [3] Peres, Rafael Silveira. Propriedades anticorrosivas de camadas de conversão à base de taninos como pré-tratamento para o aço carbono 1020. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre: UFRGS, 2010.
- [4] C. Suelen, Revestimentos à base de TEOS como tratamento anticorrosivo para a liga de alumínio AA2024-T3.

ATIVIDADE FOTOELETROCATALÍTICA DE NANOESTRUTURAS DE Nb₂O₅ OBTIDOS POR ANODIZAÇÃO

Lemes, T..¹
Adamski, J. ²
Aguzzoli, C.³
Malfatti, C.F.⁴

¹ Mestre Thais Lemes, LAPEC/PPGE3M, Departamento de Metalurgia, UFRGS, lemes_thais@hotmail.com

² Doutora Janice Adamski, LAPEC/PPGE3M, Departamento de Metalurgia, UFRGS, janice_adki@hotmail.com

³ Professor Doutor Cesar Aguzzoli, Universidade de Caxias do Sul, RS, Brasil. caguzzol@ucs.br

⁴ Professora Doutora Célia de Fraga Malfatti, LAPEC/PPGE3M, Departamento de Metalurgia, UFRGS, materiaisxenergia@gmail.com

Resumo

Atualmente, tem sido estudado o desenvolvimento de processos de produção de energia considerada limpa, sendo um dos principais relacionados à produção de hidrogênio, que apresenta grandes vantagens, como a possibilidade de armazenamento, associação com outras fontes renováveis de energia e síntese a partir de subprodutos industriais orgânicos. Os óxidos nanoporosos de semimetais tem recebido especial atenção devido a sua alta área superficial. O TiO₂ é o óxido nanoporoso mais estudado devido a suas características eletrônicas, texturais e catalíticas. No entanto, os óxidos a base de nióbio apresentam características semelhantes a do TiO₂ e com a vantagem de o Brasil possuir a maior reserva de nióbio. A anodização é um processo eletroquímico e compreende uma das técnicas mais eficazes para a fabricação de óxido nanoporoso funcional. Neste estudo avaliamos dois parâmetros de anodização: concentração de íon flúor no eletrólito e tratamento térmico após anodização. As amostras foram analisadas morfológicamente por microscopia eletrônica de varredura (MEV). A caracterização estrutural foi realizada por difração de raios X e o desempenho fotocatalítico foi monitorado por ensaio de fotoeletrocorrente. A baixa concentração de fluoreto produziu uma superfície de nióbio anodizado com morfologia semelhante a nanotubos. O tratamento térmico induziu a formação de Nb₂O₅ com uma estrutura cristalina comparada às amostras não tratadas, que foram amorfas. O nióbio anodizado obtido em eletrólito com baixa concentração de flúor apresentou melhor desempenho fotoeletroquímico em relação à amostra anodizada obtida em eletrólito com alta concentração de flúor.

Palavras-chave: nanoestruturas, anodização, fotoeletrocatalise, hidrogênio.

PHOTOELECTROCATALYTIC ACTIVITY OF Nb₂O₅ NANOESTRUTURES OBTAINED BY ANODIZATION

Abstract

Currently, the development of clean energy production processes has been studied, being one of the main ones related to the production of hydrogen, which presents great advantages, such as the possibility of storage, association with other renewable sources of energy and synthesis from by-products industrial plants. Nanoporous oxides of semimetals have received special attention due to their high surface area. TiO₂ is the most studied nanoporous oxide due to its electronic, textural and catalytic characteristics. However, niobium based oxides have characteristics similar to that of TiO₂ and with the advantage that Brazil has the largest niobium reserve. Anodizing is an electrochemical process and comprises one of the most effective techniques for the manufacture of functional nanoporous oxide. In this study, we evaluated two anodic parameters: fluoride ion concentration in the electrolyte and heat treatment after anodization. The samples were analyzed morphologically by scanning electron microscopy (SEM). The structural characterization was performed by X-ray diffraction and photoelectrochemical performance was monitored by photoelectrocurrent assay. The low fluoride concentration produced an anodized niobium surface with similar morphology to the nanotubes. The heat treatment induced the formation of Nb₂O₅ with a crystalline structure compared to the untreated samples, which were amorphous. The anodized niobium obtained in electrolyte with low fluoride concentration presented better photoelectrochemical performance in relation to the anodized sample obtained in electrolyte with high concentration of fluoride.

Key words: nanostructures, anodization, photoelectrocatalysis, hydrogen.

1 INTRODUÇÃO

O aumento da pesquisa em materiais de nióbio se deu a partir da década de 50, com a possibilidade de aplicação na indústria espacial, nuclear e em novas fontes de energia ⁽¹⁾. A sua aplicação na indústria de alta tecnologia está relacionada com os setores aeroespacial em superligas metálicas e em microcapacitores, o que o torna um material de interesse para as próximas décadas ⁽²⁾.

96% das reservas mundiais de nióbio estão sob território brasileiro e são comercializadas como ferro-nióbio e óxido de nióbio. No entanto a Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração, CBMM, procura expandir a sua aplicabilidade através do desenvolvimento de novos produtos para a indústria automotiva, metais especiais e tecnologias avançadas para agregar valor ao produto ⁽³⁾. A partir da década de 90, materiais contendo nióbio passaram a ser pesquisados em catálise heterogênea e apresentaram atividade catalítica, seletividade e estabilidade química ^(4,5).

Os óxidos de nióbio exibem atividade fotocatalítica por possuírem propriedades específicas que lhes permitem promover reações de redução de óxidos quando excitados. Essas reações podem levar a foto-oxidação de compostos orgânicos e água para geração de hidrogênio ou a completa degradação de compostos orgânicos ⁽⁶⁾.

A aplicação da energia solar para produção de hidrogênio e a fotodegradação de compostos orgânicos em águas residuais é impulsionada por sua abundância na crosta terrestre com uma potência de 700 W/m².

Entre os materiais fotocatalíticos vem se destacando a pesquisa em materiais de estrutura nanoporosa de óxidos semimetálicos. Sua estrutura facilmente controlável e a levada área superficial possibilitam sua aplicação em células solares, sensores de gases, fotocatalise e ainda aplicações biomédicas ^(7,8,9,10,11,12,13).

Óxidos nanoporosos de semimetais com estrutura tubular podem ser formados por oxidação eletroquímica de filmes metálicos sob condições específicas ^(14,15). É muito importante encontrar os melhores parâmetros para a formação anódica das estruturas de forma tubular de cada óxido metálico. A formação das estruturas em forma de tubo durante a anodização é o resultado de uma competição entre a oxidação do metal na interface óxido/metal e a dissolução do óxido na interface eletrólito/óxido. As taxas das reações de oxidação e dissolução são fortemente afetadas pelo tipo de eletrólito, a tensão aplicada e a temperatura de anodização ⁽¹⁶⁾. Portanto, a densidade de corrente de anodização e a composição do eletrólito são os parâmetros-chave para a obtenção das estruturas tubulares.

O crescimento de nanoestruturas de Nb₂O₅ auto-organizadas por meio do método de anodização eletroquímica foi demonstrado pela primeira vez por Schmuki et al. ⁽¹⁷⁾. Resultados na literatura relatam estruturas de Nb₂O₅ obtidas por anodização podem ser porosas e apresentam espessura limitada ⁽¹⁸⁾.

A morfologia mais apropriada para a fotocatalise são os nanotubos devido a sua elevada área superficial; no entanto, uma camada porosa organizada pode ser otimizada para melhorar o desempenho, o que pode ser alcançado com a combinação dos parâmetros de anodização adequados. Neste trabalho, estudamos a influência da concentração de íons fluoreto no eletrólito para a anodização e a influência do tratamento térmico após a anodização, na morfologia do óxido de nióbio. Além disso, a atividade fotocatalítica dos óxidos obtidos foi avaliada por medidas fotoeletroquímicas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia para a síntese das nanoestruturas de óxido de nióbio pelo processo de anodização baseia-se em trabalhos da literatura onde são empregadas como eletrodo de trabalho placas de nióbio nas dimensões 1 cm x 1 cm, e uma placa de platina como contraeletrodo, sob uma tensão de 90V, a temperatura ambiente, e com o tempo de anodização de 90 minutos. O eletrólito baseia-se em uma solução contendo glicerol, fluoreto de amônio e água onde variamos a concentração de fluoreto de amônia para avaliar sua influencia na morfologia dos nanoporos. Em seguida as amostras são tratadas termicamente, a 450°C por 60 minutos para obtenção do ordenamento da estrutura cristalina. A Tabela 1 apresenta resumidamente as condições de obtenção das amostras analisadas.

A nanoestrutura obtida foi analisada por Microscopia Eletrônica de Varredura por Emissão de Campo (FEG-SEM), marca MIRA3 por TESCAN sendo operado a 15kV. A caracterização estrutural foi realizada por difração de raios-X. As análises foram realizadas com ângulo 2θ de 5° e o potencial aplicado foi de 40kV, com uma corrente de 40 mA utilizando-se de um equipamento da Philips X-Ray Analytical, com sistema X'Pert-MPD, console PW3040/00 com tubo de raios-X PW3373/00. O

software utilizado para análise e interpretação dos resultados foi o X'Pert High Score.

Tabela 1. Condições de obtenção dos nanoporos de óxido de nióbio pelo processo de anodização.

Amostra	Glicerol:NH ₄ F (wt./wt.)	Tratamento térmico
A	1:0.012	Não tratada
ATT	1:0.012	450°/60 min
B	1:0.035	Não tratada
BTT	1:0.035	450°/60 min

As medidas fotoeletroquímicas foram realizadas usando um potenciostato Autolab PGSTAT302N. Os experimentos foram realizados em uma célula de quartzo usando três eletrodos, a amostra de nióbio como eletrodo de trabalho, a platina como contra-eletrodo e um eletrodo de Hg/HgSO₄ como eletrodo de referência. O eletrólito foi uma solução Na₂SO₄ 0,1 M. O desempenho fotoeletroquímico a partir do ensaio de densidade de fotoeletrocorrente (voltamograma de varredura linear) foi medida frente a irradiação de uma lâmpada de Xe de 300W (Oriel). A fonte de intensidade da luz foi calibrada com um diodo de Si (Newport) para estimular a iluminação AM 1.5 (100 mW.cm⁻²). O gráfico foi construído a partir do resultante da diferença entre a região com luz e a região escura.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A etapa de anodização e crescimento da nanoestrutura sobre as placas de nióbio foi acompanhada através de um gráfico de transiente de densidade de corrente como apresentado na Figura 1 onde se evidencia um perfil diferente para as amostras estudadas. A densidade de corrente para a amostra anodizada no eletrólito com maior concentração de flúor (Amostra B) foi menor que a desenvolvida por amostra anodizada no eletrólito de menor concentração de flúor (Amostra A).

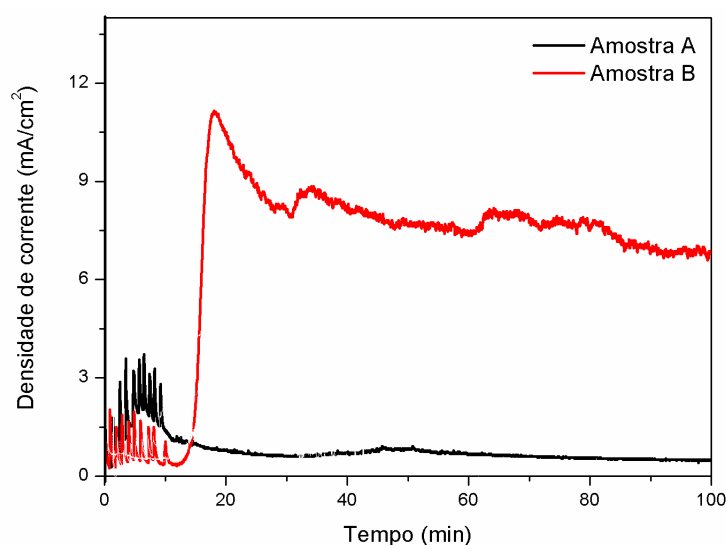


Figura 1: Transiente de densidade de corrente para as amostras durante processo de anodização.

Após a anodização as amostras foram tratadas termicamente para obtenção da estrutura cristalina. A técnica de Difração de Raios X foi utilizada para verificar a mudança de fase cristalina como mostrado na Figura 2 onde podemos evidenciar no difratograma da amostra anodizada sem tratamento térmico e da amostra anodizada após tratamento térmico um pico característico do Nb aparece em $2\theta = 38,1^\circ$, $2\theta = 55,3^\circ$ e $2\theta = 69,3^\circ$ de acordo com o que os padrões JCPDS N°. 00-002-1108. Na amostra anodizada com tratamento térmico aparecem os picos em $2\theta = 27,1^\circ$, $21,5^\circ$, $48,8^\circ$, $54,4^\circ$ e $68,4^\circ$ são atribuídos ao Nb_2O_5 de estrutura pseudo-hexagonal conforme reportado por Galstyan et al. 2014 ⁽¹⁹⁾.

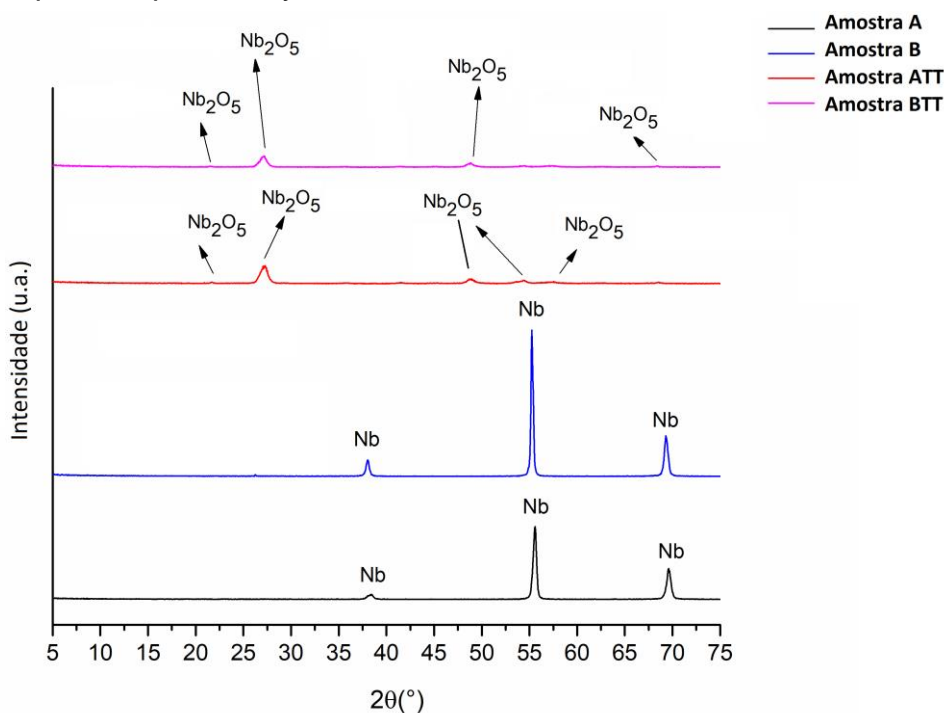


Figura 2. Resultado de DRX das amostras anodizadas e após o tratamento térmico.

As amostras anodizadas e sem tratamento térmico mostraram uma camada de óxido amorfo. Os resultados de DRX indicaram que, independentemente da concentração de flúor no eletrólito, o tratamento térmico promoveu a formação de óxido de cristal em ambas as superfícies anodizadas.

Na Figura 3 são apresentadas as imagens de microscopia das amostras anodizadas (amostra A e B) e após o tratamento térmico (amostra ATT e BTT). A amostra A anodizada em eletrólito com menor concentração de fluoreto apresentou morfologia similar as nanotubos devido a dissolução anódica e a competição de espessamento de óxidos promoverem a formação de uma estrutura porosa ⁽²⁰⁾, enquanto a amostra B com maior concentração de íons fluoreto apresentou uma estrutura desordenada.

Em relação às amostras tratadas termicamente, não foi possível observar diferença entre as duas morfologias. Em ambas as amostras, ATT e BTT, a morfologia mostrou uma camada de óxido quebradiço independentemente da concentração de fluoreto. Isso mostra que diferentes concentrações de flúor no eletrólito tiveram um efeito na morfologia das amostras de nióbio após o processo de anodização, mas com o tratamento térmico essa diferença na morfologia não é tão perceptível tornando a morfologia das superfícies muito semelhantes.

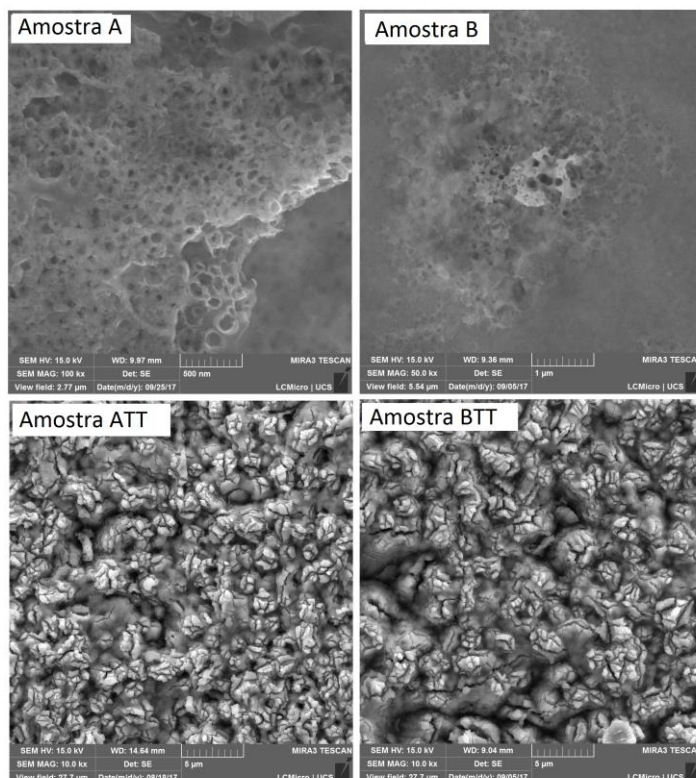


Figura 3. Imagens de microscopia das amostras de nióbio anodizado (Amostras A e B) e amostras anodizadas e tratadas termicamente (Amostras ATT e BTT).

O melhor desempenho fotoeletrocatalítico, que pode ser evidenciado pelos maiores valores de densidade fotocorrente dentro do espectro eletroquímico da reação de redução de água para a produção de hidrogênio foi obtido para a amostra ATT, como mostrado na Figura 4.

Esse resultado pode estar relacionado à morfologia semelhante aos nanotubos e menor concentração de flúor presente na amostra após o processo de anodização e antes do tratamento térmico. Além disso, a amostra ATT ao aumentar o potencial aplicado, produziu os maiores valores de densidade de fotocorrente. Este comportamento pode ser associado à sua estrutura cristalina, reforçada pelo tratamento térmico e sua estrutura porosa.

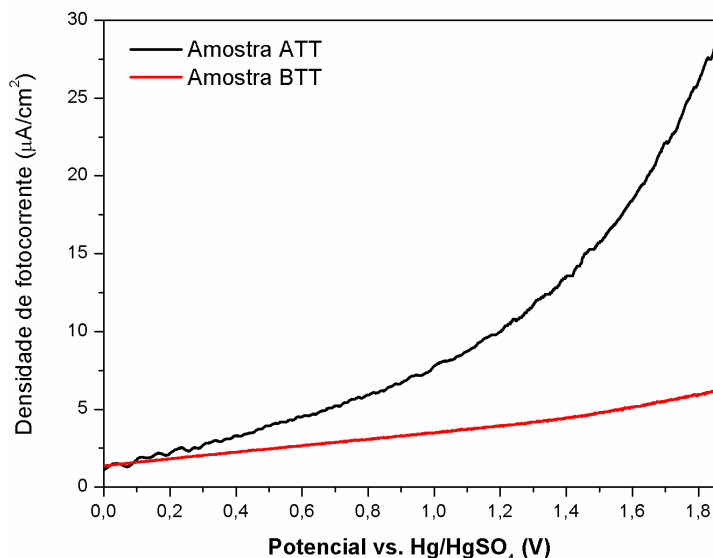


Figura 4. Voltamograma linear dos eletrodos de nióbio anodizado em diferentes concentrações de fluoreto com tratamento térmico. Taxa de varredura de 10 mV/s e o eletrólito de suporte é Na₂SO₄ 0,1 M.

Os valores de densidade fotocorrente apresentados neste estudo para a amostra ATT foram superiores aos valores de densidade fotocorrente já apresentados na literatura para o nióbio, conforme demonstrado por Liu et al.⁽²¹⁾, que obtiveram nanoplacas de Nb₂O₅ com geometria hexagonal resultados da fotocorrente sob iluminação da ordem de 59,9 µA. Enquanto Fang et al.⁽²²⁾ estudaram o efeito dos nanobastões Nb₂O₅ na fotocorrente, encontrando valores em torno de 51,3 µA.

4 CONCLUSÃO

A amostra anodizada obtida em um eletrólito com menor concentração de íons fluoreto apresentou uma superfície com estrutura nanoporosa que contribuiu para aumentar o desempenho fotoeletroquímico em relação à amostra anodizada obtida em um eletrólito com maior concentração de íons fluoreto. Após tratamento térmico não foram observadas diferenças entre as morfologias das amostras, todas as amostras apresentaram estrutura pseudo-hexagonal de Nb₂O₅ e apresentaram atividade fotoeletrocatalítica sendo a amostra mais organizada morfologicamente a mais ativa.

Agradecimentos

Este trabalho foi realizado com o apoio da CAPES, entidade do governo brasileiro voltada à formação de Recursos Humanos e com apoio do CNPq. Também agradecemos ao LCMIC-UCS. Agradecemos a Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração, CBMM pelo fornecimento das placas de Nb usadas no presente estudo.

REFERÊNCIAS

- 1 A. G. S. Silva, *Dissertação de Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais*, (2007) 113.
- 2 O. F. Lopes, V. R. Mendonça, F. B. F. Silva, E. C. Paris, C. Ribeiro, *Química Nova*, 38 (2015) 106.
- 3 J. M. G. Lima. Contrato nº 48000.003155/2007-17, *Relatório Técnico 20-Perfil de Mineração do Nióbio, Projeto de Assistência Técnica ao Setor de Energia, Ministério de Minas e Energia*, 2010.
- 4 K. Tanabe, *Catalysis Today*, 8 (1990) 1.
- 5 M. Ziolek, *Catalysis Today*, 78 (2003) 47.
- 6 A. L. Linsebigler, G. Lu, J. T. Yates, *Chemical Reviews*, 95 (1995) 735.
- 7 P. Roy, S. Berger and P. Schmuki, *Angew. Chem., Int. Ed.*, 2011, 50, 2904–2939.
- 8 O. K. Varghese, M. Paulose and C. A. Grimes, *Nat. Nanotechnol.*, 2009, 4, 592–597.
- 9 V. Galstyan, A. Vomiero, I. Concina, A. Braga, M. Brisotto, E. Bontempi, G. Faglia and G. Sberveglieri, *Small*, 2011, 7, 2437–2442.
- 10 V. Galstyan, E. Comini, G. Faglia, A. Vomiero, L. Borgese, E. Bontempi and G. Sberveglieri, *Nanotechnology*, 2012, 23, 235706.
- 11 N. A. Kyeremateng, F. Vacandio, M. T. Sougrati, H. Martinez, J. C. Jumas, P. Knauth and T. Djenizian, *J. Power Sources*, 2013, 224, 269–277.
- 12 B. L. Ellis, P. Knauth and T. Djenizian, *Adv. Mater.*, 2014, 26, 3368–3397.
- 13 P. Lv, W. Fu, H. Yang, H. Sun, Y. Chen, J. Ma, X. Zhou, L. Tian, W. Zhang, M. Li, H. Yao and D. Wu, *Cryst Eng Comm*, 2013, 15, 7548–7555.
- 14 R. V. Goncalves, P. Migowski, H. Wender, A. F. Feil, M. J. M. Zapata, S. Khan, F. Bernardi, G. M. Azevedo and S. R. Teixeira, *CrystEngComm*, 2014, 16, 797–804.
- 15 A. M. M. Jani, D. Losic and N. H. Voelcker, *Prog. Mater. Sci.*, 2013, 58, 636–704.
- 16 W. Lee, R. Scholz and U. Goesele, *Nano Letters*, 2008, 8, 2155–2160.
- 17 I. Sieber, H. Hildebrand, A. Friedrich and P. Schmuki, *Electrochem. Commun.*, 2005, 7, 97–100.
- 18 K. Lee, Y. Yang, M. Yang and P. Schmuki, *Chem. – Eur. J.*, 2012, 18, 9521–9524.
- 19 Galstyan, V., Comini, E., Faglia, G., Sberveglieri, G., *Cryst. Eng. Comm.*, 16, 2014, 10273.
- 20 L. M. Antonini. Superfícies nanoestruturadas de titânio e tratamento superficial com filmes Diamond Like Carbon (DLC). *Dissertação Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil*, 2012.
- 21 H. Liu, N. Gao, M. Liao and X. Fang, Hexagonal-like Nb₂O₅ nonplates-based photodetectors and photocatalyst with high performances, *Scientific Reports*, 5: 7716, 2015.
- 22 Fang, X. S. et al. New ultraviolet photodetector based on individual Nb₂O₅ nanobelts. *Adv. Funct. Mater.* 21, 3907–3915, 2011.

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO DO REVESTIMENTO DE CONVERSÃO DE ÓXIDO DE ZR NANOMÉTRICO SOBRE A LIGA AA7075-T6 COM DIFERENTES PRÉ-TRATAMENTOS

Jéssica Salles Pinheiro ¹

Gabriel Regio ²

Jane Zoppas Ferreira ³

¹ Eng^a Jéssica Salles Pinheiro, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, jessica.salles@ufrgs.br

² Gabriel Regio, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, gabriel.regio@hotmail.com

³ Dra. Jane Zoppas Ferreira, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, jane.zoppas@ufrgs.br

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

Resumo

Ligas de alumínio da série 7000 passam por tratamento térmico de solubilização e envelhecimento, ganhando propriedades mecânicas ideais para solicitações estruturais das indústrias aeronáuticas e de transportes. Porém, devido à precipitação de elementos de liga na matriz de alumínio, há uma maior suscetibilidade a processos corrosivos como pites e corrosão intergranular. Por esse motivo, surge a necessidade de sistemas de proteção eficientes e livres de íons cromato, uma vez que a toxicidade dos mesmos está levando à proibição de revestimentos que os têm como base. Neste cenário, o revestimento de conversão à base de Zr nanométrico tem se mostrado uma alternativa de revestimento livre de Cr com resultados satisfatórios. O objetivo deste trabalho é avaliar a influência da preparação superficial antes da deposição do revestimento de conversão de Zr sobre a liga AA7075-T6 em sua resistência à corrosão. Foram confeccionadas amostras com os tratamentos superficiais de ativação em NaOH, decapagem em NaOH e HNO₃ e apenas lixamento. As amostras foram caracterizadas por MEV e EDS, sua resistência à corrosão mesma foi testada por impedância eletroquímica e sua degradação após 4 dias de imersão em NaCl 0,5 M foi avaliada e comparada a um revestimento comercial à base de Cr (VI) e à liga sem nenhum revestimento. As amostras que passaram pelo processo de decapagem em NaOH e HNO₃ apresentaram melhor resistência em relação às demais, com pites de tamanhos menores, demonstrando que o pré-tratamento de decapagem foi o mais adequado para deposição do revestimento de conversão de Zr nanométrico sobre a liga AA7075-T6.

Palavras-chave: Revestimento, Corrosão, Alumínio, Tratamento Superficial.

**CORROSION RESISTANCE EVALUATION OF A NANOMETRIC ZR OXIDE
CONVERSION COATING ON THE AA7075-T6 ALLOY WITH DIFFERENT PRE-
TREATMENTS**

Abstract

7000 series aluminum alloys undergo thermal treatment of solubilizing and ageing, which makes its mechanical properties ideal for structural demands of aeronautical and transport industries. However, due to the precipitation of alloy elements in the aluminum matrix, there is a greater susceptibility to corrosive processes such as pitting and intergranular corrosion. Thus, the need for efficient and chromate free protection systems arises, since their toxicity is leading to the prohibition of coatings that are based on them. In this context, the nanometric Zr-based conversion coating has shown as a Cr-free coating alternative with satisfactory results. This work aims to evaluate the influence of superficial preparation before the deposition of Zr conversion coating on the AA7075-T6 alloy in its corrosion resistance. In order to do this, samples were made with the following superficial treatments: activation in NaOH, etching in NaOH and HNO₃, and only sanding. The samples were characterized by MEV and EDS, its corrosion resistance was tested by electrochemical impedance and its degradation after 4 days of immersion in NaCl 0.5 M was evaluated and compared to a Cr(VI) based commercial coating and to the alloy without any coating. The samples that went through the process of etching in NaOH and HNO₃ have shown better resistance compared to the others, with smaller pits, demonstrating that the pre-treatment of etching was best suited for the nanometric Zr conversion coating deposition on the AA7075-T6 alloy.

Key words: coating, corrosion, aluminum, superficial treatment.

1 INTRODUÇÃO

A importância industrial do alumínio e suas ligas é bastante conhecida, o que os torna tema de diversos estudos para melhorias em sua usabilidade. Ligas da série 7000 possuem características de grande interesse especialmente à indústria aeroespacial e ao setor de meios de transporte em geral, incluindo elevada resistência ao desgaste e à fadiga, atrelados ao baixo peso. O principal motivo para o incremento em propriedades mecânicas dessas ligas em relação ao alumínio comercialmente puro é a possibilidade de submetê-las a tratamentos térmicos de envelhecimento, onde se adicionam elementos de liga e, os que não solubilizam junto à matriz de alumínio, tornam-se intermetálicos, isto é, formam outra fase. Essas partículas de segunda fase podem ser catódicas em relação ao alumínio, que tende a ser corroído em detrimento desses elementos, ou anódicas, sendo preferencialmente oxidadas, ambos processos localizados e microscópicos de corrosão galvânica [1]. Em meio neutro e na presença de íons cloreto ocorre corrosão por pites, esfoliação e intergranular – já que há uma tendência aos elementos de liga serem precipitados preferencialmente nos contornos de grão do material, que são sítios mais ativos [2], [3].

Considerando os problemas de corrosão inerentes às ligas de alumínio termicamente tratadas e sabendo que tais materiais são frequentemente pintados e

precisam de um tratamento superficial eficiente para receberem a pintura, sistemas de proteção à corrosão de ligas de alumínio são extensivamente utilizados. Métodos tradicionais de fosfatização e cromatização, tóxicos à saúde humana e do ecossistema, precisam ser substituídos de maneira satisfatória por tratamentos superficiais alternativos não poluentes. Uma das alternativas consiste em revestimentos de conversão nanocerâmicos, que são assim chamados por formarem óxidos em escala nanométrica sobre superfícies metálicas. Essas camadas são depositadas através de banhos de sais principalmente de Zr e Ti [4], [5]. Alguns parâmetros devem ser controlados para que se obtenham depósitos protetivos e que possam também auxiliar na adesão de revestimentos orgânicos posteriormente, são eles: tempo de imersão, temperatura, pH, agitação e composição do banho [6], [7].

Estudos anteriores mostraram, no entanto, uma heterogeneidade inerente ao processo de formação de camadas de conversão de óxidos de Zr e Ti. Isto ocorre em decorrência da deposição dos mesmos ser favorecida em altos pH e os intermetálicos presentes em ligas de alumínio serem frequentemente catódicos em relação à matriz, originando uma camada de difusão alcalina sobre e ao redor dessas partículas devido às reações de redução de oxigênio e evolução de hidrogênio. Devido a essa esperada heterogeneidade na camada depositada por imersão em banhos de sais de Zr e Ti, onde áreas distantes de intermetálicos ficam empobrecidas em óxido protetivo, frequentemente não se espera um aumento significativo em resistência à corrosão com esses sistemas. Em contrapartida, revestimentos de conversão à base de cromatos apresentam um mecanismo de formação praticamente oposto ao descrito para óxidos de Zr e Ti, pois se baseia em reações redox entre os íons cromato e a matriz de alumínio, deixando relativamente empobrecidas em óxido os precipitados catódicos. Através desse mecanismo a atividade catódica da superfície é reduzida com maior eficácia [7].

A resistência à corrosão de revestimentos de conversão de Zr e Ti foi avaliada em diversos estudos, inclusive sobre a liga utilizada no presente trabalho, AA7075-T6, porém utilizando banhos comerciais e sem ensaios de impedância eletroquímica [5], [8]. Uma abordagem semelhante à proposta pelos autores deste trabalho foi realizada para a liga AA1050 por Golru e equipe [6]. Esta liga não passa por tratamento térmico de precipitação para aumento das propriedades mecânicas, porém possui intermetálicos suficientes para apresentar a mesma heterogeneidade na camada de conversão à base de H_2ZrF_6 . Contudo, os resultados de impedância eletroquímica mostraram um aumento em resistência à corrosão e, principalmente, uma manutenção dessa resistência até 24 h quando o sistema é aplicado sobre a liga – previamente preparada em NaOH 5 % em massa a 50 °C e HNO_3 50 % em volume à temperatura ambiente – em relação à liga sem a camada de conversão, que perdeu consideravelmente sua resistência após 24 h de imersão em NaCl 0,6 M. Em um estudo posterior [9], os mesmos autores também constataram uma melhora na adesão e nas propriedades anticorrosivas do revestimento epoxy

quando aplicado sobre a superfície tratada com a camada de conversão de óxido de Zr – etapa não testada no presente estudo, porém de interesse dos autores para trabalhos futuros, já que uma das funções da camada de conversão nanocerâmica é a de melhorar sistemas de proteção juntamente com tintas e revestimentos orgânicos.

Este estudo tem como objetivo testar dois diferentes pré-tratamentos ou a ausência de pré-tratamento ao revestimento nanocerâmico de Zr sobre a liga AA7075-T6, buscando a deposição de uma camada com a maior homogeneidade possível e que, assim, proporcione maior aumento em resistência à corrosão. Além disso, visa compará-los a um revestimento de conversão comercial à base de Cr(VI), bem como à superfície sem qualquer tratamento superficial. As superfícies foram caracterizadas por MEV e EDS e sua resistência à corrosão foi testada através de espectroscopia de impedância eletroquímica em NaCl 0,5 M.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a confecção das amostras foi utilizada uma chapa da liga de alumínio AA7075-T6, comprada da empresa Alrase Metais, cortada em dimensões de 80 mm x 40 mm x 2.8 mm. Segundo medidas de fluorescência de raios X (FRX), realizadas com o equipamento Nilton XL3T GOLDD+ da marca Thermo Scientific, a composição da chapa pode ser verificada na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição percentual em massa da liga de alumínio utilizada.

Al	Zn	Mg	Fe	Si
92,096 ± 0,229	5,712 ± 0,062	1,222 ± 0,278	0,291 ± 0,016	0,116 ± 0,023
Cu	Zr	Ti	Mn	Cr
0,154 ± 0,007	0,088 ± 0,002	0,052 ± 0,005	0,046 ± 0,012	0,206 ± 0,007

Lixas de carvão de Si com granulometria #320 e #600 foram utilizadas para preparação e homogeneização superficial e, em seguida, as peças foram desengraxadas por 10 minutos a 70 °C em solução de 70 g.L⁻¹ do produto comercial Saloclean 667N[®] e, por fim, lavadas com água deionizada e secas com jato de ar quente. Posteriormente, as amostras passaram por dois diferentes pré-tratamentos. O primeiro foi uma ativação em NaOH 10 % em massa por 2 min, que teve por objetivo aumentar o pH superficial e, com isso, aumentar as chances de precipitação do óxido de Zr nanométrico em toda superfície durante a imersão na solução de H₂ZrF₆; o segundo foi uma decapagem em NaOH 10 % em massa por 2 min, lavagem em água deionizada e posterior neutralização e remoção de alguns precipitados em HNO₃ 30 % em volume por 30 s. Esse processo de decapagem teve por objetivo a remoção da camada de óxido de alumínio naturalmente formada ao ar e a homogeneização da superfície. Outra amostra seguiu à próxima etapa sem qualquer pré-tratamento. As imersões descritas ocorreram à temperatura ambiente e

todas as amostras foram lavadas e secas com jato de ar quente após os procedimentos.

Após as diferentes preparações superficiais, as amostras receberam o revestimento nanocerâmico, através da imersão simples em uma solução aquosa de ácido hexafluorzircônico (H_2ZrF_6) 1,0 % em volume – $6,65 \text{ g.L}^{-1}$ de Zr. O pH foi ajustado a 3,5 com NaOH 1 M. As imersões foram realizadas por *dip-coating*, com o elevador de discos Marconi MA765, pelo tempo de imersão de 2 min, a uma taxa de 420 mm.min^{-1} , tanto para imersão quanto para remoção, à temperatura ambiente. Uma das amostras lixada e desengraxada foi imersa pelo mesmo método descrito para a camada nanocerâmica de Zr, porém em solução aquosa do produto comercial Salodine 206[®], um cromatizante para alumínio e suas ligas, que tem como base íons de cromo (VI), a fim de formar uma camada de conversão a ser comparada à camada formada em ácido hexafluorzircônico. A concentração utilizada do produto foi de 3,0 % e o pH foi ajustado a 2,5 com NaOH 1 M – condições indicadas pelo fabricante. Em seguida as amostras foram lavadas com água deionizada e secas com jato de ar quente. A Tabela 2 apresenta a nomenclatura das amostras confeccionadas.

Tabela 2 – Nomenclaturas utilizadas para cada amostra e seus respectivos sistemas de proteção

Amostra	Nomenclatura utilizada
Nenhum tratamento superficial	branco
Imersão em H_2ZrF_6	nano
Ativação em NaOH + imersão em H_2ZrF_6	NaOH nano
Decapagem em NaOH e HNO_3 + imersão em H_2ZrF_6	NaOH/ HNO_3 nano
Imersão em Salodine 206 [®]	salodine

Para os ensaios de espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE) a solução utilizada foi de NaCl naturalmente aerada de 0,5 M, à temperatura ambiente. A área exposta da amostra para cada célula eletroquímica foi de $7,07 \text{ cm}^2$ e foi utilizado um eletrodo de Ag/AgCl (KCl saturado) – este com +0,207 V em relação ao eletrodo padrão de hidrogênio – como eletrodo de referência e uma folha de platina como contra-eletrodo. Pelo uso do potenciostato Autolab PGSTAT302 e o programa Nova na versão 1.11.2, as curvas de EIE foram adquiridas numa faixa de frequência de 10^5 Hz a 10^{-2} Hz , com 10 mV de amplitude de perturbação sobre o potencial em circuito aberto.

As análises de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia de raios X por Dispersão em Energia (EDS) foram realizadas no equipamento Phenom ProX do Laboratório de Polímeros da UFRGS (Lapol), onde se utilizou uma tensão de 15 kV e aumentos de 2000 e 5000 vezes. As imagens das áreas das amostras expostas à solução de NaCl 0,5 M foram realizadas após 4 dias de imersão das mesmas dentro de células de acrílico.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As imagens de topo obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), bem como as análises químicas por Espectroscopia de raios X por Dispersão em Energia (EDS) das amostras são apresentadas pelas Figuras 1 a 4. Pelas análises de EDS foi possível evidenciar um aumento na composição de O, F e Zr quando a imersão em H_2ZrF_6 foi realizada após decapagem em NaOH e HNO_3 e um aumento ainda maior quando após ativação da superfície em NaOH, se comparadas ao substrato apenas lixado da liga AA7075-T6. As concentrações dos elementos de liga Zn e Mg não apresentaram variação considerável para as três situações.

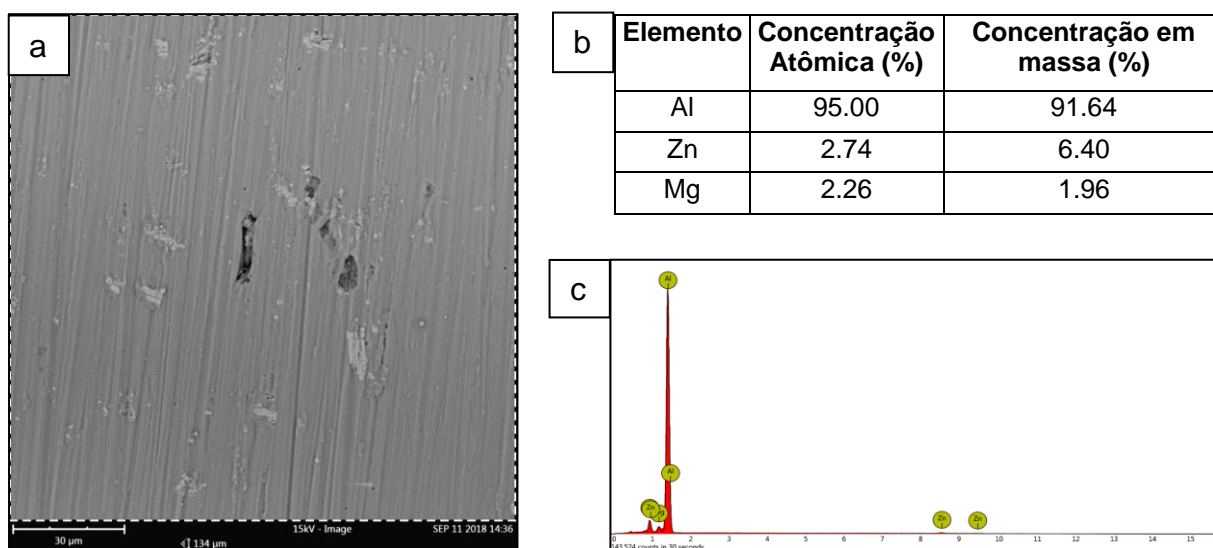


Figura 1 – Imagem de MEV da amostra da liga AA7075-T6 sem qualquer tratamento superficial, apenas lixada (a); concentrações (b) e espectro (c) dos elementos presentes na região, obtidos por EDS.

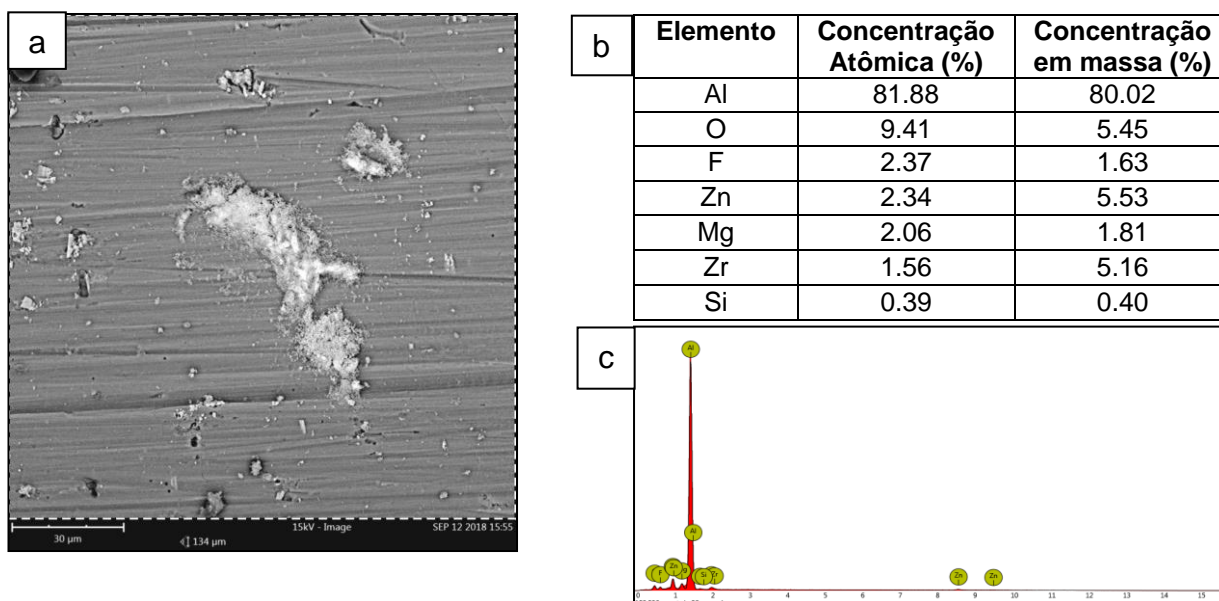


Figura 2 – Imagem de MEV da amostra lixada e desengraxada com o revestimento nanocerâmico (a); concentrações (b) e espectro (c) dos elementos presentes na região, obtidos por EDS.

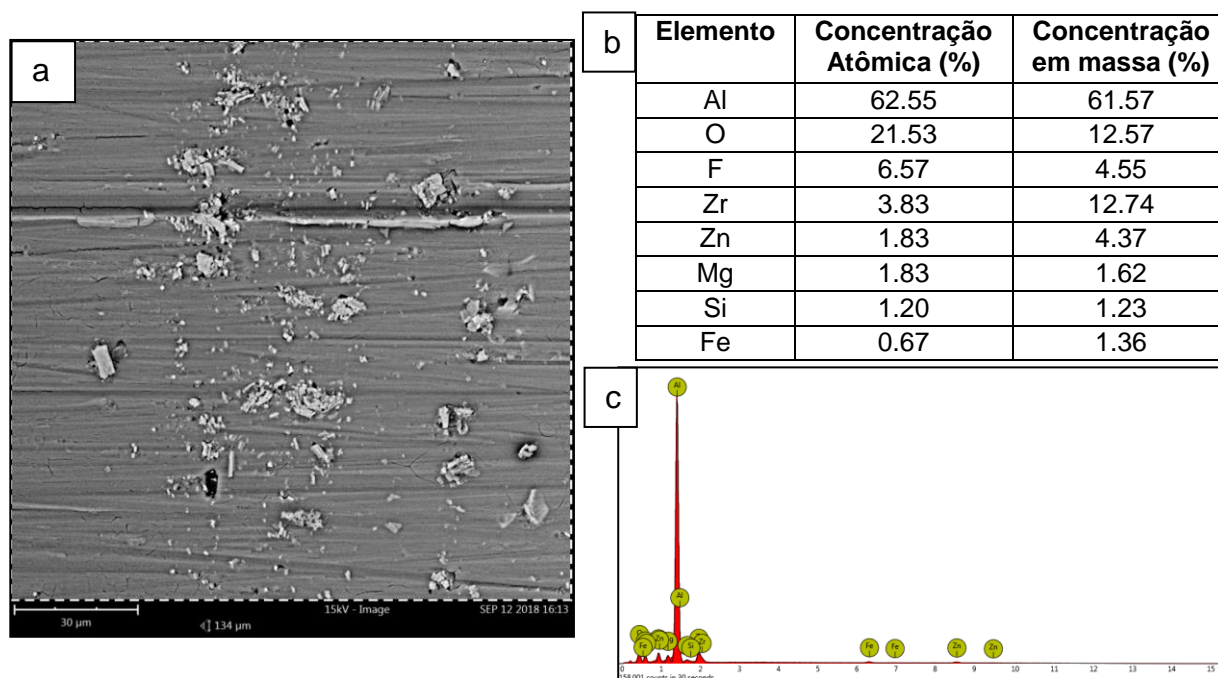


Figura 3 – Imagem de MEV da amostra lixada e decapada em NaOH com o revestimento nanocerâmico (a); concentrações (b) e espectro (c) dos elementos presentes na região, obtidos por EDS.

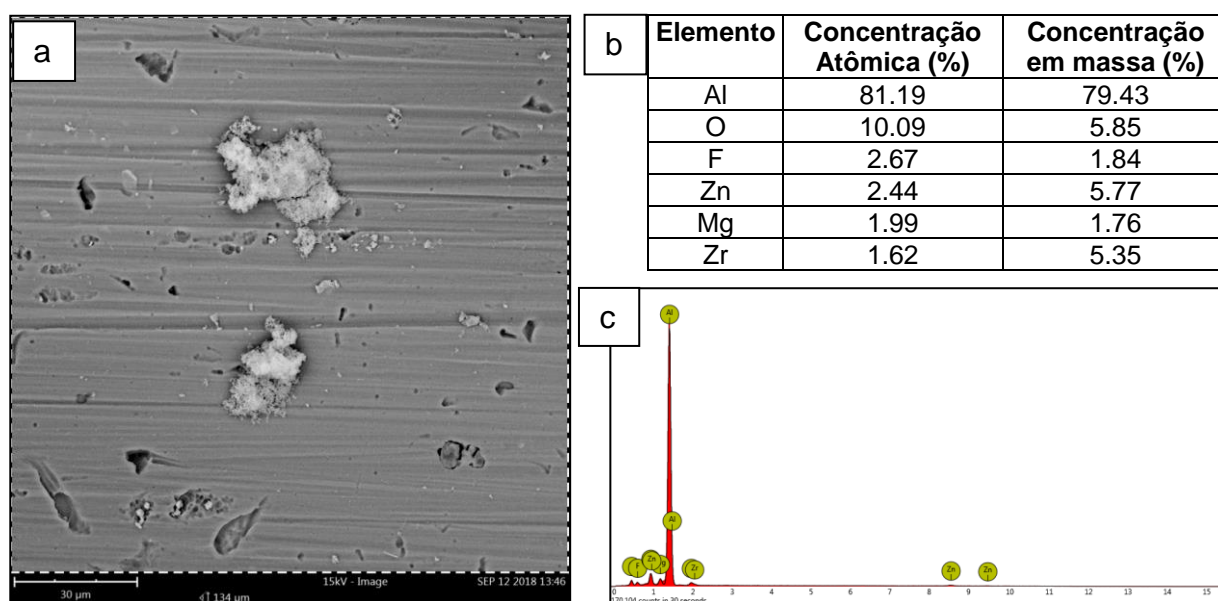


Figura 4 – Imagem de MEV da amostra lixada e decapada em NaOH e HNO₃ com o revestimento nanocerâmico (a); concentrações (b) e espectro (c) dos elementos presentes na região, obtidos por EDS.

Foi possível observar que a superfície da amostra somente lixada que recebeu o revestimento nanocerâmico apresentou morfologia semelhante à amostra sem o revestimento, porém com um aumento no tamanho dos precipitados, devido à presença de óxido de Zr que se dá preferencialmente sobre e ao redor dos intermetálicos, conforme já encontrado em estudos anteriores [10]. Já as amostras decapadas sofreram maiores alterações morfológicas, evidenciadas por imagens em maior aumento (Figura 5).

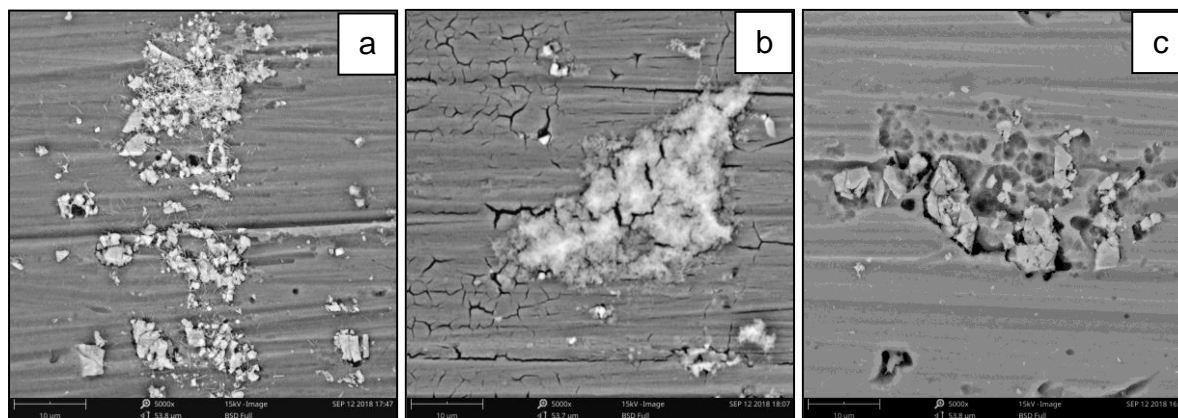


Figura 5 – Imagens de MEV da amostra somente lixada com o revestimento nanocerâmico (a), ativada em NaOH com o revestimento nanocerâmico (b) e da amostra decapada em NaOH e HNO₃ com o revestimento nanocerâmico (c).

Através das imagens de microscopia se pôde verificar a presença de microtrincas ao longo de toda a superfície da amostra que passou por ativação somente em NaOH antes da deposição do óxido de Zr (Figura 5 a), enquanto nenhuma trinca foi observada na amostra que passou por decapagem em NaOH seguida de HNO₃ (Figura 5 b), bem como na que foi somente lixada e desengraxada (Figura 5 c). Sabe-se que os revestimentos nanocerâmicos, por serem revestimentos de conversão, passam essencialmente pelas etapas de ataque inicial à superfície, aumento do pH devido à reação de oxidação, deposição do revestimento assim que se atinge o pH necessário e posterior deterioração do revestimento [6]. Pode-se sugerir que a ativação em NaOH tornou a superfície suscetível à ocorrência de todas as etapas a uma taxa muito elevada, ou seja, chegou-se à etapa de deterioração do revestimento durante a imersão em H₂ZrF₆, ocasionando as microtrincas. Outra hipótese já levantada em estudos anteriores atribui o surgimento de trincas à desidratação do filme ao final do seu processo de formação [11].

Os ensaios de espectroscopia de impedância eletroquímica indicaram uma maior resistência do revestimento nanocerâmico sobre a superfície decapada em NaOH e HNO₃ em relação à superfície sem decapagem e consideravelmente maior se comparada à amostra que passou somente por NaOH antes da imersão em H₂ZrF₆. O desempenho das amostras com o revestimento de óxido de Zr nanométrico foi comparado ao da superfície com o revestimento de conversão à base de Cr(VI) Salodine® 206, bem como ao da superfície sem qualquer tratamento. As curvas de Bode obtidas para cada situação após diferentes tempos de imersão em NaCl 0,5 M são apresentadas pelas Figuras 6 a 10. Em baixas frequências – de 10⁻² Hz a aproximadamente 1 Hz – as medidas de impedância das amostras estudadas sofrem interferência e apresentam ruído, além de serem as frequências relacionadas ao processo de corrosão por pites [12], portanto os resultados mais relevantes para comparação do desempenho eletroquímico se encontram entre 1 Hz e 10⁵ Hz. Valores do módulo de impedância em frequências intermediárias – de 10 Hz a 10³ Hz podem ser relacionados à camada de óxido sobre o substrato da liga de

alumínio, enquanto frequências mais altas – de 10^3 a 10^5 dizem respeito à superfície mais externa e suas reações com o eletrólito [13].

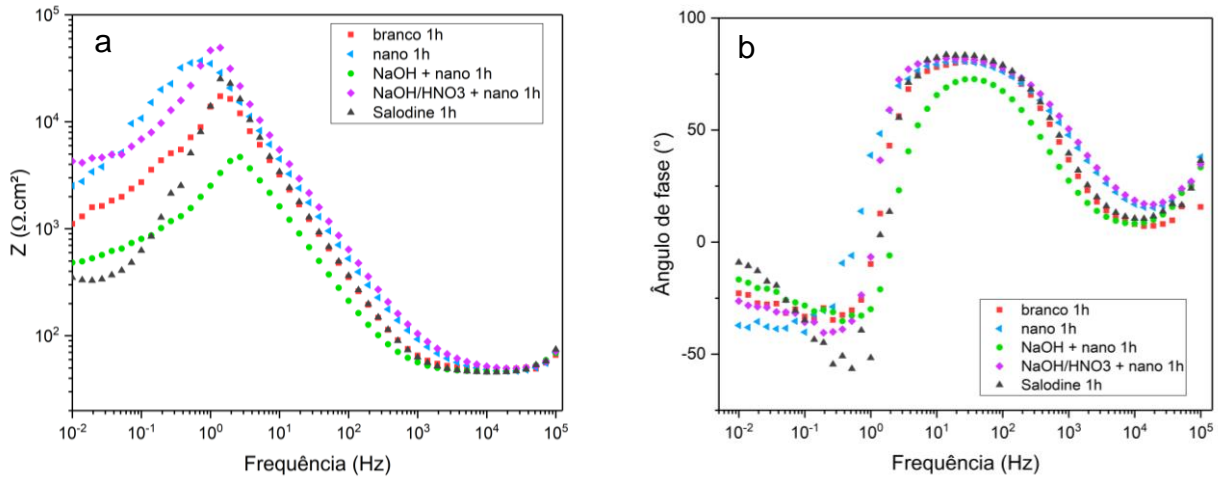


Figura 6 – Curvas de Bode do módulo de impedância (a) e do ângulo de fase (b) após 1 hora de imersão em NaCl 0,5 M.

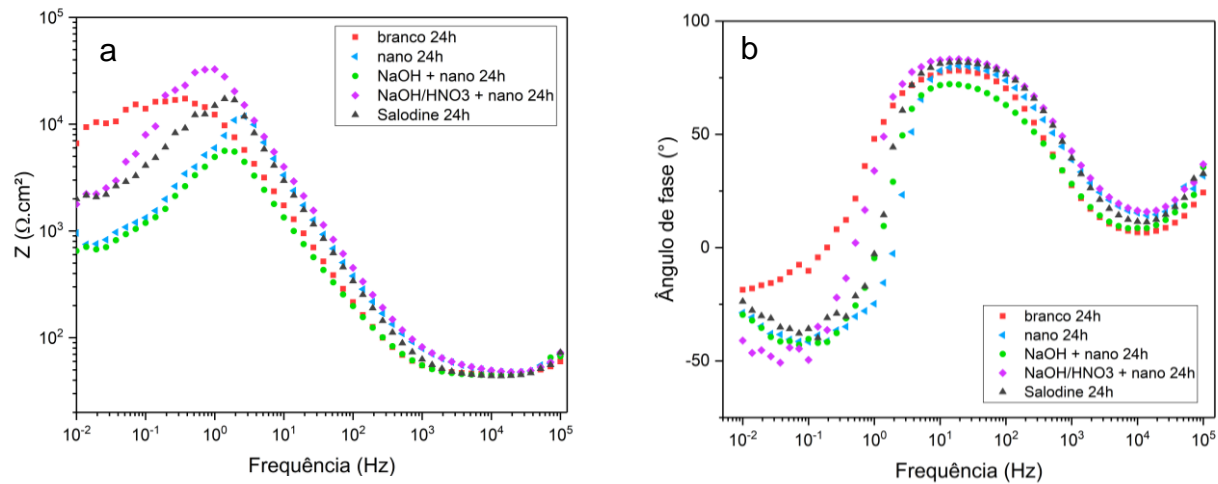


Figura 7 – Curvas de Bode do módulo de impedância (a) e do ângulo de fase (b) após 24 horas de imersão em NaCl 0,5 M.

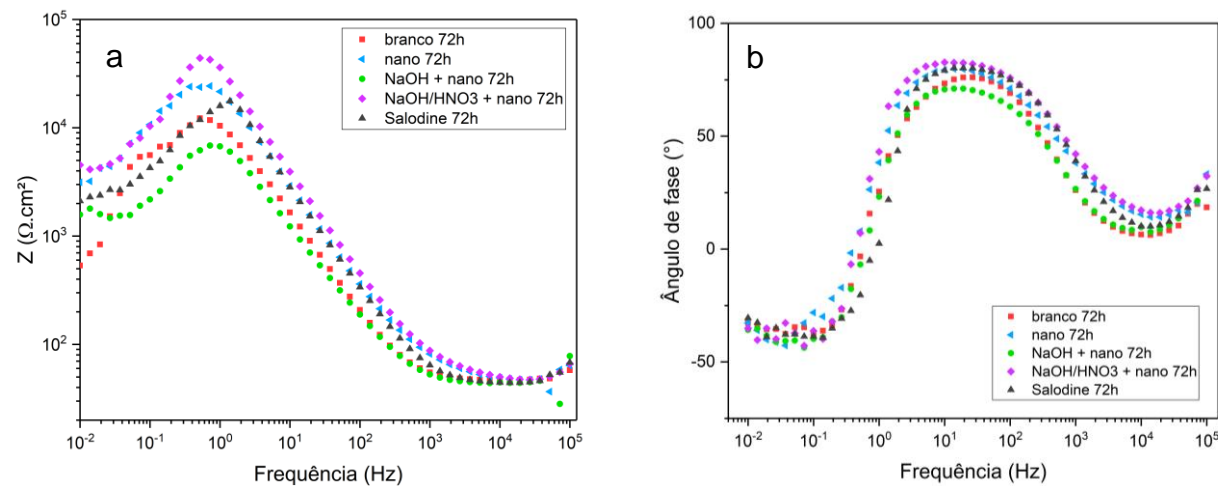


Figura 8 – Curvas de Bode do módulo de impedância (a) e do ângulo de fase (b) após 72 horas de imersão em NaCl 0,5 M.

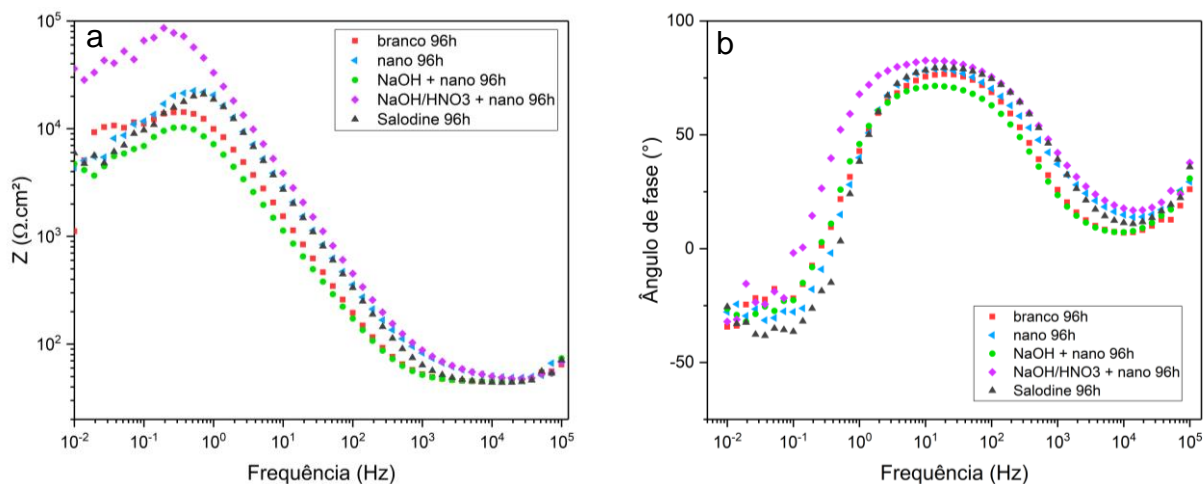


Figura 8 – Curvas de Bode do módulo de impedância (a) e do ângulo de fase (b) após 96 horas de imersão em NaCl 0,5 M.

Os resultados indicaram que a superfície submetida à imersão em NaOH antes da deposição do revestimento nanocerâmico têm a menor resistência à corrosão em relação às demais situações, mostrando-se pior, inclusive, que as amostras sem nenhum tratamento superficial. Essa ineficiência do revestimento provavelmente se deve à presença de microtrincas ao longo da superfície, evidenciado por MEV (Figura 5 b), que permitem a penetração de maior quantidade de eletrólito e um ataque mais severo inclusive em relação à liga sem qualquer sistema de proteção. Para as amostras somente lixadas e desengraxadas antes de receber o revestimento nanocerâmico foi observado um desempenho melhor que para as que passaram pelo pré-tratamento em NaOH, provavelmente por não terem apresentado microtrincas em sua superfície e, assim, garantirem uma melhora na resistência à corrosão se comparado ao substrato sem qualquer tratamento superficial. Sua proteção se mostrou semelhante àquela obtida pelo revestimento de conversão formado pelo produto Salodine 206®, à base de Cr(VI), o que torna o uso do revestimento à base de ácido hexafluorzircônico vantajoso em relação ao produto à base de Cr(VI) nas condições de imersão utilizadas neste estudo, visto que o mesmo não apresenta a toxicidade conhecida dos íons cromato. Já no caso das amostras submetidas à decapagem em NaOH seguida de HNO₃ se observou a maior resistência dentre os sistemas estudados, o que provavelmente se deve ao fato do revestimento ter apresentado ausência de microtrincas (Figura 5 c) e maior concentração de óxido de Zr (Figura 4 b) em relação à amostra que não passou pelo processo de decapagem (Figura 2 b).

Para melhor analisar o desempenho eletroquímico de cada sistema de proteção com o passar do tempo foram escolhidas duas frequências intermediárias – 26 Hz e 372 Hz – em que os módulos de impedância para cada período de imersão em NaCl 0,5 M foram comparados e representados pelos gráficos da Figura 9. Após 4 h de imersão em NaCl 0,5 M se observou uma perda significativa em resistência à corrosão para a amostra “branco”, isto é, a liga sem nenhum tratamento superficial. O desempenho frente à corrosão tanto do “branco” quanto do sistema “NaOH nano”

piora novamente após 96 h de imersão, porém em menor escala, tanto na frequência de 26 Hz quanto em 372 Hz. A amostra submetida ao produto Salodine 206® apresentou inicialmente resistência semelhante à liga sem nenhum tratamento superficial para as frequências determinadas, porém manteve os valores de impedância com o passar do tempo, indicando que houve a formação de uma camada protetora. Pôde-se observar com mais clareza uma maior resistência para as amostras previamente submetidas à decapagem em NaOH e HNO₃. Uma possível razão para esse resultado é a remoção do óxido de alumínio naturalmente presente na superfície da liga – por se tratar de um material que se passiva em contato com o ar atmosférico – bem como a homogeneização superficial proporcionadas pelo processo de decapagem, que acabam por tornar ideal a superfície para a formação da camada de conversão quando da imersão em H₂ZrF₆, o que está de acordo com o que já foi proposto por Golru e equipe [6].

O sistema de proteção “nano”, ou seja, deposição do óxido de Zr nanométrico sobre a liga apenas lixada e desengraxada, apresentou resistência maior que a liga com o produto comercial Salodine 206®, porém seu desempenho foi decaindo com o tempo até o período de 24 h para a frequência de 372 Hz e até 48 h para 26 Hz. O mesmo comportamento foi observado para o sistema “NaOH/HNO₃ nano”, embora neste caso a resistência tenha sido maior e o desempenho tenha piorado após 24h para as duas frequências escolhidas antes de se estabilizar, demonstrando que mesmo havendo um aumento na resistência à corrosão, há também uma instabilidade do revestimento nanocerâmico sobre a liga AA7075-T6 em meio salino.

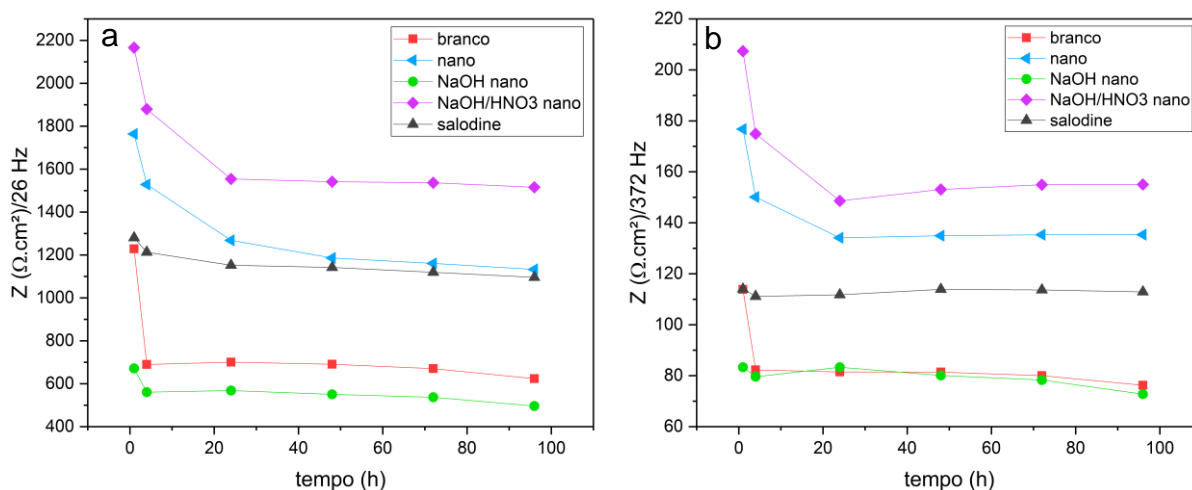


Figura 9 – Variação dos módulos de impedância com o tempo de imersão em NaCl 0,5 M para as frequências fixas de 26 Hz (a) e 372 Hz (b).

As imagens das amostras após imersão em NaCl 0,5 M após 96h são apresentadas pela Figura 10. Pôde-se verificar uma corrosão generalizada ao substrato no caso da amostra “branco”, onde o produto de corrosão é tão abundante que atrapalha a visualização dos pites. O mesmo, porém com ainda maior

intensidade, ocorre para a amostra que passou pela ativação em NaOH previamente à deposição do revestimento nanocerâmico. A amostra submetida ao produto Salodine 206® apresentou grande número de pequenos pites e grande quantidade de produto de corrosão sobre a superfície. Os pites presentes sobre a amostra apenas lixada com revestimento nanocerâmico foram maiores que os observados na amostra revestida com a camada de conversão à base de Cr(VI) e na amostra que passou previamente por decapagem em NaOH e HNO₃. Estes resultados de degradação morfológica visível a olho nu estão de acordo com o que foi observado nos ensaios eletroquímicos, onde o módulo de impedância referente à amostra sem pré-tratamento com a camada nanocerâmica decai mais com o tempo se comparado ao revestimento obtido com Salodine 206® e ao sistema de decapagem seguida de revestimento nanocerâmico. A amostra submetida à decapagem antes da camada de nanocerâmico apresenta menores pites e menor quantidade de produto de corrosão, o que demonstra coerência com seu maior módulo de impedância.

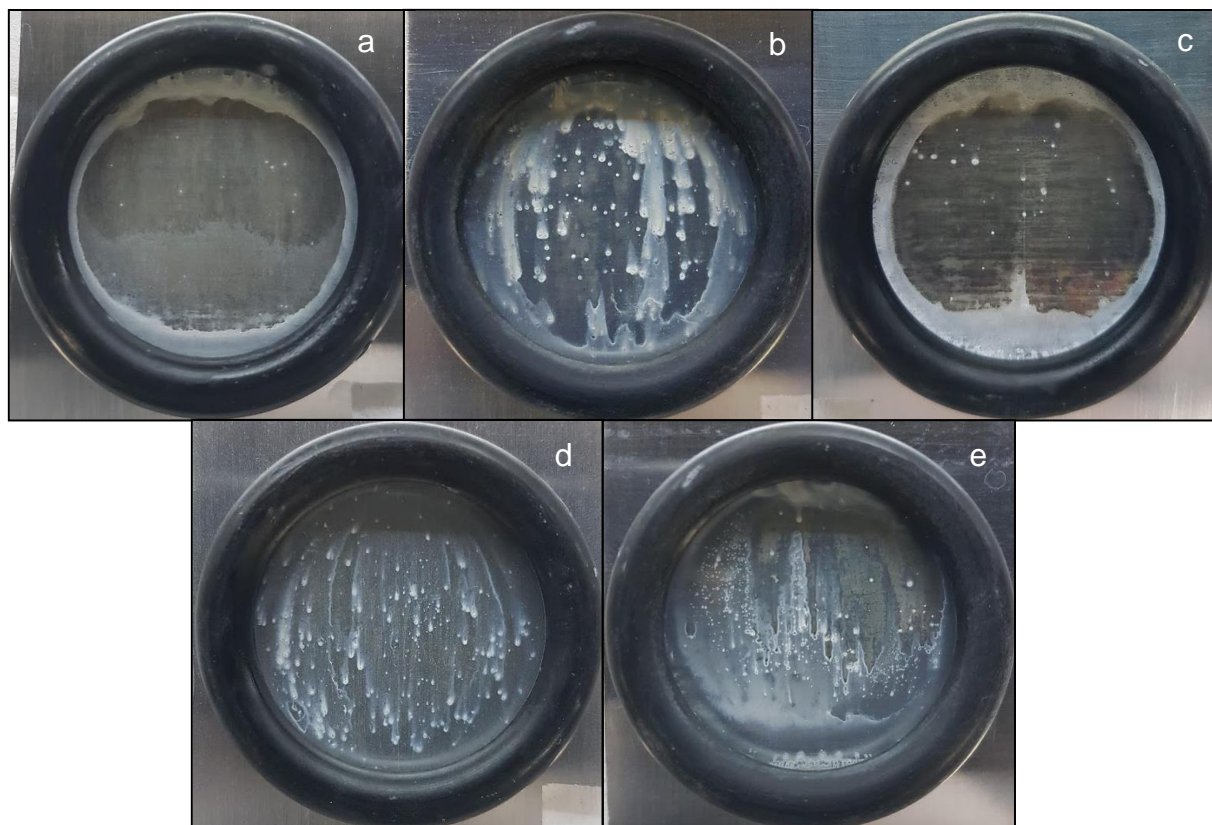


Figura 10 – Áreas das amostras expostas a solução de NaCl 0,5 M durante 96h após secagem com jato de ar quente, referentes aos sistemas: branco (a), nano (b), NaOH nano (c), NaOH/HNO₃ nano (d) e salodine (e).

4 CONCLUSÃO

Através deste estudo foi possível concluir que o revestimento de conversão à base de ácido hexafluorzircônico melhora a resistência à corrosão da liga AA7075-T6, tanto se depositado diretamente sobre a liga, quanto se depositado após decapagem em NaOH e HNO₃. Amostras com um pré-tratamento de decapagem em NaOH e HNO₃ apresentaram maior resistência à corrosão se comparadas a amostras somente com o revestimento nanocerâmico, sugerindo que a remoção do óxido de alumínio natural seguida de uma neutralização e remoção de alguns precipitados com HNO₃ tornam a superfície da liga AA7075-T6 melhor preparada para receber a camada de conversão de óxido de Zr nanométrico.

A imersão somente em NaOH não é recomendada como pré-tratamento ao revestimento nanocerâmico, uma vez que o desempenho desse sistema em NaCl foi pior que o da liga sem qualquer tratamento superficial. Pode-se sugerir que essa piora na resistência à corrosão foi ocasionada pela formação de microtrincas na superfície da peça, que facilitaram a passagem de eletrólito ao interior do material, acelerando o processo corrosivo.

O revestimento nanocerâmico de Zr apresentou desempenho anticorrosivo similar ao do revestimento de conversão à base de Cr(VI) obtido com o produto Salodine 206[®] nas mesmas condições de imersão e preparação superficial das amostras – isto é, amostras apenas lixadas e desengraxadas e 2 min de imersão à temperatura ambiente. Contudo, os pites maiores observados na amostra com a camada nanocerâmica se deve à sua menor estabilidade sobre a liga AA7075-T6 quando comparada à camada de conversão de Cr(VI), comportamento demonstrado pelo decaimento no módulo de impedância para médias frequências entre 1 e 48 horas de imersão em NaCl, enquanto a camada obtida com Salodine 206[®], apesar do menor módulo de impedância, praticamente não mostrou decaimento nesse período.

Agradecimentos

À CAPES, pela bolsa de mestrado adjudicada à autora; ao LACOR – Laboratório de Corrosão, Proteção e Reciclagem de Materiais, pela infra-estrutura oferecida às práticas do trabalho e à FINEP, pelos recursos obtidos através de projeto Sibratec - Redes de Prestação de Serviços Tecnológicos.

REFERÊNCIAS

- [1] F. Andreatta, H. Terryn, e J. H. . de Wit, “Corrosion behaviour of different tempers of AA7075 aluminium alloy”, *Electrochimica Acta*, vol. 49, nº 17–18, p. 2851–2862, jul. 2004.

- [2] A. S. El-Amoush, “Intergranular corrosion behavior of the 7075-T6 aluminum alloy under different annealing conditions”, *Mater. Chem. Phys.*, vol. 126, nº 3, p. 607–613, abr. 2011.
- [3] A. Chemin, D. Marques, L. Bisanha, A. de J. Motheo, W. W. Bose Filho, e C. O. F. Ruchert, “Influence of Al₇Cu₂Fe intermetallic particles on the localized corrosion of high strength aluminum alloys”, *Mater. Des.*, vol. 53, p. 118–123, jan. 2014.
- [4] I. Milošev e G. S. Frankel, “Review—Conversion Coatings Based on Zirconium and/or Titanium”, *J. Electrochem. Soc.*, vol. 165, nº 3, p. C127–C144, 2018.
- [5] P. Santa Coloma, U. Izagirre, Y. Belaustegi, J. B. Jorcin, F. J. Cano, e N. Lapeña, “Chromium-free conversion coatings based on inorganic salts (Zr/Ti/Mn/Mo) for aluminum alloys used in aircraft applications”, *Appl. Surf. Sci.*, vol. 345, p. 24–35, ago. 2015.
- [6] S. S. Golru, M. M. Attar, e B. Ramezanzadeh, “Morphological analysis and corrosion performance of zirconium based conversion coating on the aluminum alloy 1050”, *J. Ind. Eng. Chem.*, vol. 24, p. 233–244, 2015.
- [7] O. Lunder, “Chromate-free pre-treatment of aluminium for adhesive bonding”, nº 7238, p. 144.
- [8] L. Li, B. W. Whitman, C. A. Munson, R. Estrada, C. A. Matzdorf, e G. M. Swain, “Structure and Corrosion Performance of a Non-Chromium Process (NCP) Zr/Zn Pretreatment Conversion Coating on Aluminum Alloys”, *J. Electrochem. Soc.*, vol. 163, nº 13, p. C718–C728, 2016.
- [9] S. Sharifi Golru, M. M. Attar, e B. Ramezanzadeh, “Effects of surface treatment of aluminium alloy 1050 on the adhesion and anticorrosion properties of the epoxy coating”, *Appl. Surf. Sci.*, vol. 345, p. 360–368, ago. 2015.
- [10] J. Nordlien, J. Walmsley, H. Østerberg, e K. Nisancioglu, “Formation of a zirconium-titanium based conversion layer on AA 6060 aluminium”, *Surf. Coat. Technol.*, vol. 153, nº 1, p. 72–78, abr. 2002.
- [11] H. Eivaz Mohammadloo, A. A. Sarabi, A. A. Sabbagh Alvani, H. Sameie, e R. Salimi, “Nano-ceramic hexafluorozirconic acid based conversion thin film: Surface characterization and electrochemical study”, *Surf. Coat. Technol.*, vol. 206, nº 19–20, p. 4132–4139, maio 2012.
- [12] J. Hitzig, K. Jüttner, W. J. Lorenz, e W. Paatsch, “AC-impedance measurements on porous aluminium oxide films”, *Corros. Sci.*, vol. 24, nº 11–12, p. 945–952, jan. 1984.
- [13] G. W. Walter, “A Review Of Impedance Plot Methods Used For Corrosion Performance Analysis Of Painted Metals”, *Corros. Sci.*, vol. 26, nº 9, p. 681–703, 1986.

AVALIAÇÃO DO COEFICIENTE DE ATRITO EM DIFERENTES SUBSTRATOS DE FOSFATO COM BASE NO TESTE DO ANEL

Monteiro, J. R. P. ¹
de Verney, J. C. K. ²
dos Santos, L. H ³
César, J. L. ⁴

- ¹ Acadêmico, José Rafael dos Passos Monteiro, ULBRA, rafaelmonteiro1089@hotmail.com
² José Carlos Krause de Verney, ULBRA, jcverney@ulbra.br
³ Prof. MSc. Eng., Leonardo Haerter dos Santos, ULBRA, Leonardo.haerter@ulbra.br
⁴ Prof. Dr. Eng., José Lesina César, ULBRA, engmecanica.canoas@ulbra.br

Resumo

Em forjamento a frio o atrito é um fator prejudicial ao processo, o atrito elevado causa desgaste excessivo de ferramentas, maquinários e prejudica a qualidade final do produto. Com o objetivo de minimizar o atrito se aplica no blanque a ser conformado um processo de fosfatização e lubrificação. Este trabalho visa testar dentre três tipos de fosfato sendo: fosfato de zinco, fosfato de manganês e fosfato orgânico, qual dos três substratos (fosfato) combinado com sabão resulta no menor coeficiente de atrito (μ). Para definir de modo prático o coeficiente de atrito, se utilizou o método de curva de calibração proposto por Kunogi, onde se realiza a compressão de corpos de prova em uma escala 6:3:2, sendo, diâmetro externo, interno e altura. Após a compressão com a porcentagem de variação de diâmetro interno e porcentagem de variação de altura se encontra o coeficiente de atrito entre as curvas de calibração. Foram realizados cinco testes diferentes sendo eles aço sem lubrificante (SAE 1020) definido como a pior situação, aço com sabão, aço com fosfato de zinco e sabão, aço com fosfato de manganês e sabão e aço com fosfato orgânico e sabão (sempre o mesmo sabão). Após todos os testes e cálculos, o resultado final apresenta o fosfato de zinco e fosfato de manganês com um mesmo coeficiente de atrito médio $\mu = 0,053$, porém se concluiu que o fosfato de zinco é o mais indicado, por trabalhar em uma temperatura de processo menor gerando economia energética.

Palavras-chave: Atrito, Fosfato de zinco, Fosfato de manganês, Fosfato orgânico.

EVALUATION OF THE FRICTION COEFFICIENT OF IN DIFFERENT PHOSPHATE SUBSTRATES BASED ON THE RING TEST

Abstract

In cold forging, friction is a detrimental factor to the process, high friction causes excessive wear of tools, machinery and impairs the final quality of the product. In order to minimize friction, a process of phosphating and lubrication is applied to the

blanque. This work aims to test among three types of phosphate being: zinc phosphate, manganese phosphate and organic phosphate, which of the three substrates (phosphate) combined with soap results in the lowest coefficient of friction (μ). In order to define the friction coefficient in a practical manner, the calibration curve method proposed by Kunogi was used, where the compression of test specimens is performed in a 6: 3: 2 scale, being, external diameter, internal and height. After the compression with the percentage of variation of internal diameter and percentage of variation of height is the coefficient of friction between the calibration curves. Five different tests were performed: non-lubricated steel (SAE 1020) defined as the worst situation, soap steel, zinc phosphate steel and soap, manganese phosphate steel and soap and steel with organic phosphate and soap (always the same soap). After all the tests and calculations, the final result presents zinc phosphate and manganese phosphate with the same coefficient of average friction $\mu = 0.053$, but it was concluded that zinc phosphate is the most indicated, because it works at a process temperature generating energy savings.

Key words: Friction, Zinc phosphate, Manganese phosphate, Organic phosphate

1 INTRODUÇÃO

A conformação de diversos tipos de materiais para a alteração de sua geometria vem sendo utilizada pelo ser humano desde antes de Cristo. A Pré-história é dividida de acordo com os instrumentos de trabalho utilizados pelos homens. O Paleolítico é o período da pedra lascada, o Neolítico é a idade da pedra polida e, na Idade dos metais, os instrumentos de pedras e outros objetos foram aos poucos substituídos por ferramentas metálicas. Tal situação estava relacionada ao acúmulo de experiências de trabalho desenvolvidas pelos seres humanos desses períodos. O ser humano começava a dominar, ainda que de maneira rudimentar, a técnica da fundição. A princípio, utilizou como matéria prima o cobre, o estanho e o bronze, metais cuja fusão é mais fácil.

Nos tempos atuais, o ser humano tem grande domínio das técnicas de conformação de materiais tipo, aço, polímeros, cerâmicos ou compósitos. O aço é fundamental para a evolução da humanidade. O aço pode ser conformado de várias formas como por dobra, estampagem, laminação, trefilação, extrusão e forjamento dentre outros. Porém, um dos pontos em comum em todos os processos é o atrito, que em processos de forjamento a frio podem dificultar a moldagem do metal gerando resistência entre a ferramenta e o produto, que causa um consumo maior de energia, desgaste de ferramenta, aumento no desgaste do equipamento, por necessitar de forças maiores na conformação. De um modo geral, o atrito é visto como um aspecto negativo em alguns processos de conformação. (SCHAEFFER, 2006; GEIER, 2007).

No processo de forjamento a frio uma das etapas de trabalho é preparar a geratriz para a conformação, dentro desta preparação está a limpeza da superfície para retirada de óxidos e carepas superficiais podendo ser removido por jateamento ou decapagem química. Após a limpeza é realizado um processo químico chamado de fosfatização com o objetivo de aumentar a superfície de contato da peça, para que possa reter mais lubrificante e, assim, diminuir o atrito no forjamento, (DIETER, 1981).

Para que a empresa seja competitiva no mercado atual, onde toda redução de custo em potencial deve ser analisada, ter um processo produtivo de alta produtividade, qualidade e eficiência é fundamental. Com este intuito, deve-se analisar todas as etapas construtivas de um produto desde a matéria prima até o produto acabado. Em um processo de forjamento a frio, reduzir a força de atrito é fundamental para o aumento de qualidade e redução de custos a longo prazo. Sendo assim, estudar uma etapa do processo em específico é de grande importância. A etapa de fosfatização na preparação do blanque, para maior aderência de lubrificante, é de grande importância para o forjamento como um todo; desde a redução de custos por desgaste de equipamento e ferramentas, até uma melhor qualidade no produto acabado.

Porém, existem vários tipos de fosfatização como, fosfato de zinco, fosfato de manganês, fosfatização orgânica (fosfato a frio), dentre outros. Definir qual tipo de fosfato realiza o maior ancoramento de lubrificante é de grande importância para se definir o processo como um todo.

Para isso, o teste do anel como estudo prático das forças de atrito auxilia o estudo, demonstrando na prática a eficiência de cada fosfato, (PANOSSIAN e SANTOS, 2008).

Está comprovado que todos os materiais sólidos podem ser deformados quando sujeitos a cargas de tração ou compressão. Porém esta deformação pode ser permanente ou não, depende basicamente da quantidade de força que o material suporta. A este valor ao qual o material suporta se denomina *limite elástico*. Dessa forma, quando se aplica uma carga a qual não ultrapasse esse valor, o material sofrerá uma deformação momentânea e após retirar a força aplicada o material retorna a sua forma geométrica inicial, a esta se denomina *deformação elástica*. Quando a compressão ou tração aplicada ultrapassar o limite elástico, o material não retornará a sua forma geométrica original ocorrendo uma deformação permanente, a esta denomina-se *deformação plástica*. (DIETER, 1981; SCHAEFFER, 2006).

Algumas das vantagens do forjamento a frio é a capacidade de se obter formas geométricas complexas com grande precisão dimensional, podendo ser obtida a geometria final do produto sem posterior processo de usinagem. Outra vantagem é o encruamento gerado na conformação, que ocasiona um aumento da resistência mecânica permitindo a utilização de um material de menor custo e, em alguns casos, não sendo necessário o tratamento térmico após o forjamento. (SCHAEFFER, 2006).

A lubrificação é conhecida no processo de forjamento a frio como fosfatização/ensaboamento. O lubrificante tem como objetivo reduzir as elevadas forças de atrito geradas pela compressão da matriz sobre o blanque. Uma lubrificação eficaz não apenas reduz a força de atrito na interface metal/ferramenta, como também aumenta a vida útil da ferramenta e diminui os esforços necessários para a conformação do material. (MANGUKIA, 2005; PANOSSIAN e SANTOS, 2008).

De um modo geral os diferentes tipos de fosfato como: fosfato de ferro II, fosfato de zinco, fosfato de manganês e fosfato tricatiônico, têm suas etapas de processo produtiva iguais variando apenas a composição química da solução fosfatizante. Em específico, um processo mais recente de fosfato denominado fosfato orgânico ou fosfato 3 em 1, tem um processo diferente dos demais. Os lubrificantes ao contrário do que se espera, não são apenas fluidos, tipo óleo, ou sólidos, tipo graxa e sabão. Lubrificante é todo aquele composto sólido, líquido ou

gasoso que está entreposto a duas superfícies, com uma resistência ao cisalhamento menor que as superfícies a qual se encontra, dessa forma o atrito irá se localizar no material de menor resistência mecânica, diminuindo o impacto e o desgaste nos corpos em contato. (HELMAN e CETLIN, 1993; GIOIA, NETTO, 2018).

O bissulfeto de molibdênio é um sólido que tem estrutura lamelar em camadas individuais de enxofre e molibdênio, tem excelente resultado no emprego como lubrificante, pode ser aplicado em rolamentos, vedação, junta de expansão, anéis de pistão, válvulas, entre outros. Tem como características manter suas propriedades tribológicas a temperaturas de aproximadamente 400 °C, quando exposto ao ar, podendo ser utilizado de diversas formas, como pó, disperso em um líquido, compactado. E aplicado em situações como revestimento superficial, lubrificante para conformação a frio, como aditivo para graxas e entre outras formas. Sua maior aplicação na indústria é como aditivo para lubrificantes e graxas, ou seja, aplicando uma porcentagem de bissulfeto no produto base para maximizar a eficiência do lubrificante, (PANOSSIAN; SANTOS, 2006).

O ensaio proposto por Kunogi, em 1956, e posteriormente por Male e Cockcroft, entre 1964 e 1965, comumente chamado de o ensaio do anel, é muito utilizado para determinar o coeficiente do atrito, que consiste em deformar plasticamente um anel cilíndrico com relação dimensional 6;3;2; (onde 6 se refere ao diâmetro externo, 3 o diâmetro interno; 2 a espessura), (LOPES, 2016).

A grande aplicação deste método se deve ao fato de não haver necessidade de controle da força de compressão aplicada. Este método utiliza uma relação de percentual entre a medida inicial e a medida final. No ensaio do anel após a deformação do corpo de prova, se o diâmetro interno diminuir se entende que ocorreu um atrito elevado entre a peça e a ferramenta, se o diâmetro interno se mantiver igual ou aumentar fica definido que teve baixo atrito e uma ótima lubrificação, Figura 1. Após o ensaio se efetua o cálculo para definir o percentual de redução do diâmetro interno e da espessura. Com essas informações, utilizando o gráfico de curva de calibração proposto por Kunogi (Figura 2), pode se determinar um coeficiente de atrito. (BÖRDER e SINATORA, 2006).

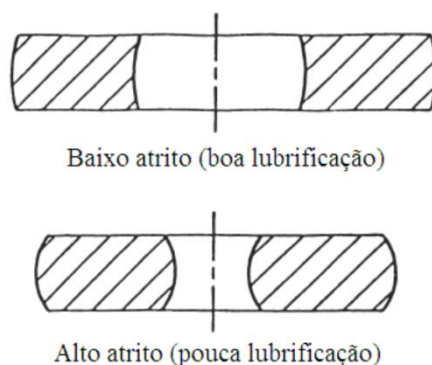


Figura 1 - Efeito do atrito sobre o fluxo do metal durante o teste compressão do anel.

Fonte: BÖESCH; MARTINS; SCHAEFFER, (2011)

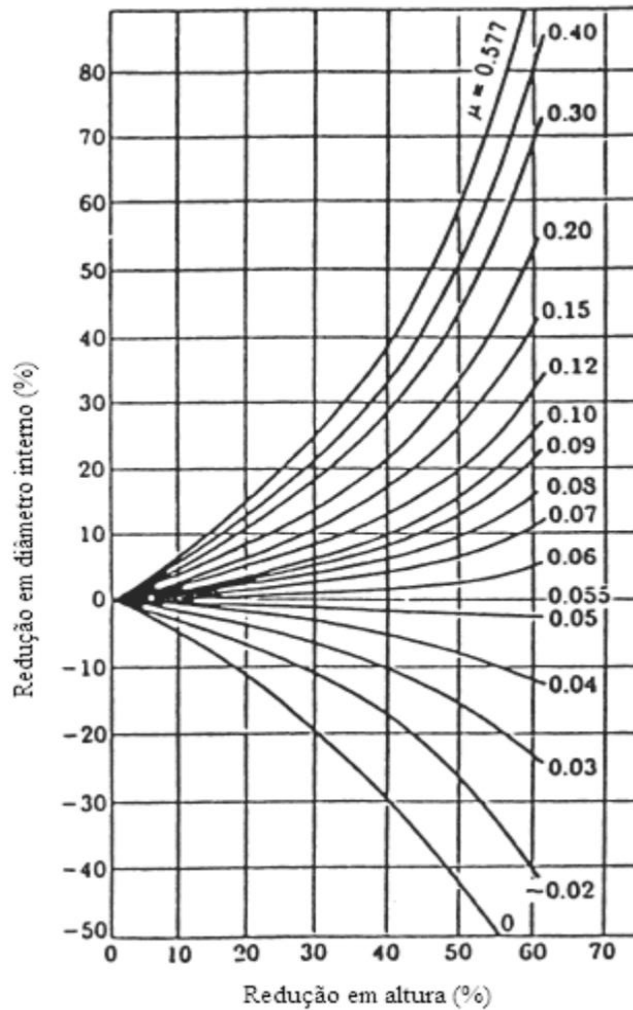


Figura 2 - Curvas de calibração para a determinação de atrito em termos de μ .
Fonte: BÖESCH; MARTINS; SCHAEFFER, (2011).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os corpos de prova foram produzidos a partir de barra comercial de aço SAE 1020 (Tabela 1), os quais foram usinados em forma anelar com as dimensões, diâmetro externo de 12 mm, o diâmetro interno de 6 mm e altura de 4 mm, respeitando a relação 6:3:2. (Figura 3). Sendo sua superfície com acabamento de usinagem.

Tabela 1 - Composição química fornecida do aço SAE 1020.

Família	AÇO	% C	% Mn	% P	% S	% Si	% Mo
Carbono	SAE 1020	0,180/0,230	0,300/0,600	Máx. 0,040	Máx. 0,050	0,15/0,35	0,15/0,25

Fonte: ArcelorMittal, fabricante.

Foram produzidos 25 corpos de prova, sendo 5 para cada tipo de processo, em um total de 5 processos. E duas amostras na forma de disco para medida de dureza e metalografia. (Figura 4)

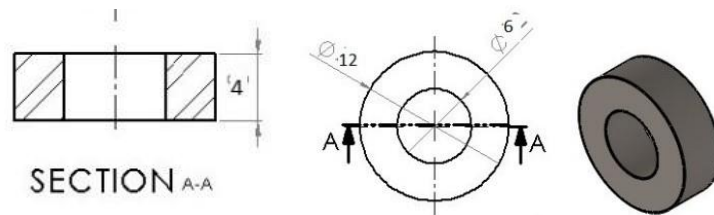


Figura 3 - Representação de um corpo de prova.
Fonte: Adaptado de LOPES, (2016).



Figura 4 - Corpos de prova.

Para a realização dos ensaios de compressão das amostras foi utilizado sabão comercial com base em bissulfeto de molibdênio como lubrificante aplicado nas amostras. Este material foi escolhido por sua vasta utilização na conformação mecânica. Bissulfeto de molibdênio (MoS_2) é aplicado com lubrificante sólido e agente anti-desgaste em altas pressões e temperatura, formando um filme resistente na superfície metálica.

Os ensaios de compressão foram realizados com uma prensa hidráulica, 120 kN, WOLPERT com velocidade constante, localizada no laboratório da engenharia na Universidade Luterana do Brasil (ULBRA).

Para medir a dureza das amostras foi utilizado um durômetro INSIZE, localizado no laboratório de metalografia da Universidade Luterana do Brasil (ULBRA).

Para as medidas de diâmetro externo e altura das amostras, antes e após os ensaios, foi utilizado um micrômetro Mitutoyo 25 mm.

Para a medida de diâmetro interno, antes e após os ensaios, foi utilizado um paquímetro Mitutoyo 150 mm.

Para os ensaios foram utilizados três tipos de solução de fosfato, tais como, fosfato de zinco, fosfato de manganês e fosfato orgânico. Tendo conhecimento que o processo de fosfato como um todo, necessita de muitos outros procedimentos antes e após o banho de fosfato, foi necessário também o uso de desengraxante alcalino, ácido clorídrico, refinador de grão, apassivador e recipientes para diluir as soluções e submergir as amostras.

Após a compressão das amostras, a fim de obter as variações do diâmetro interno e a altura dos corpos de provas, realizou-se os cálculos para o percentual de variação, e correlacionaram-se os resultados obtidos com as curvas de calibração proposta por Kunogi (BÖRDER e SINATORA, 2006).

Os cinco diferentes processos de tratamento superficial propostos para o teste foram os seguintes: primeiro - aço com fosfato de zinco e sabão, segundo - aço com fosfato de manganês e sabão, terceiro – aço com fosfato orgânico e sabão, quarto – aço com sabão, quinto – aço (sem lubrificante). O objetivo destes cinco processos é avaliar a variação do coeficiente de atrito, sendo o aço puro como a pior situação, aço com sabão para verificar a importância do fosfato e aço com as variações de fosfato para definir qual substrato apresenta o melhor resultado como ancoramento para o lubrificante.

Nos procedimentos de fosfatização proposto por este trabalho não foi utilizado o procedimento de limpeza mecânica. Tendo em vista que as amostras não passaram por nem um tipo de tratamento térmico, os procedimentos decorreram da seguinte forma:

- Fosfato de zinco – o processo de limpeza foi realizado por, desengraxe em solução alcalina a temperatura de 60 a 70 °C, decapagem em solução de ácido clorídrico a temperatura ambiente, refinador de grão, fosfatização em solução de fosfato de zinco a temperatura de 70 °C com 20 min de imersão na solução, passivação e secagem.
- Fosfato de manganês – o processo de limpeza foi realizado por, desengraxe em solução alcalina a temperatura de 60 a 70 °C, decapagem em solução de ácido clorídrico a temperatura ambiente, refinador de grão, fosfatização em solução de fosfato de manganês a temperatura de 90 °C com 20 min de imersão na solução, passivação e secagem.
- Fosfato orgânico ou fosfato 3 em 1 – esse processo se difere dos demais, pois realiza o processo de desengraxe, decapagem e fosfatização em uma única etapa, posterior a essa etapa foi feita a passivação e secagem. A fosfatização foi realizada em laboratório com uma solução de fosfato orgânico, onde se fez a imersão das amostras por 5 min, conforme recomendado pelo fabricante.

Fica definido para este trabalho que a etapa de lubrificação se refere apenas ao processo de aplicação de lubrificante. Após realizar a etapa de fosfatização todas as amostras passaram por uma mesma solução de sabão com base em bissulfeto de molibdênio (produto comercial). A solução foi aquecida a 70 °C em uma concentração de 2% de sabão. Para que a aplicação do lubrificante exerça a menor influência possível no ensaio de conformação, todas as amostras foram imersas ao mesmo tempo, assim não teve variação de temperatura, tempo de imersão e variação de concentração. (Figuras 5 a 8)



Figura 5 - Aço + fosfato de zinco + sabão.



Figura 6 - Aço + fosfato de manganês + sabão.



Figura 7 - Aço + fosfato orgânico + sabão



Figura 8 - Aço + sabão.

3 RESULTADOS

Após a medição dimensional de todas as amostras, foi possível realizar todas as etapas de fosfatização e lubrificação, e realizar os testes como dureza, metalografia e compressão.

Foi realizado ensaio de dureza em duas amostras produzidas com a mesma barra de aço. O valor médio encontrado foi de 38 HRB.

O teste de metalografia foi realizado a fim de comprovar o material utilizado no trabalho. Por meio de comparativo entre a imagem retirada da amostra (Figura 9) com imagens de bibliografias (ARLAN, O. B., 1992), fica evidenciado que o material utilizado foi aço SAE 1020, pela distribuição entre as microestruturas ferrita e perlita.

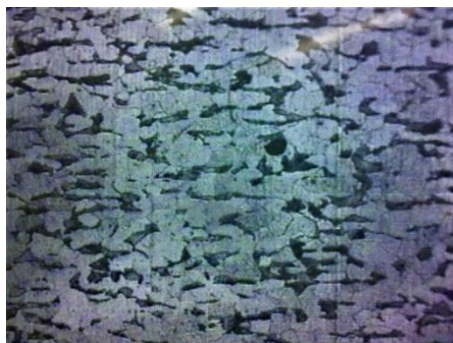


Figura 9 – Metalografia do aço utilizado nos testes. Evidenciando ser um aço com 0,2% de carbono.

Com o ensaio de compressão concluído foi realizada outra inspeção dimensional, onde, a medida de diâmetro externo e altura foram inspecionadas com micrômetro, e o diâmetro interno com paquímetro. Com as novas dimensões obtidas foi possível de se encontrar o coeficiente de atrito com o método de Kunogi (1956), relacionando porcentagem de redução de altura, com porcentagem de variação do diâmetro interno, no gráfico com as curvas de calibração.

Para utilizar o gráfico é necessário no eixo vertical analisar a porcentagem da variação do diâmetro interno, conforme equação 1, e no eixo horizontal, a porcentagem da variação da altura através da equação 2.

$$\Delta Di = \frac{(Di_i - Di_f)}{Di_i} * 100$$

Equação 1.

$$\Delta h = \frac{(hi - hf)}{hi}$$

Equação 2.

ΔDi = porcentagem de variação diametro interno

Di_i = diametro interno inicial

Di_f = diametro interno final

Δh = porcentagem de variação da altura

hi = altura inicial

hf = altura final

Com os cálculos de porcentagem de diâmetro interno e altura, se determinou o coeficiente de atrito para cada amostra (Tabela 2). Após todos os coeficientes de atrito determinados, o valor médio para cada processo foi colocado sobre as curvas (Figura 10).

Tabela 2 – Resultados dos coeficientes de atrito nos ensaios propostos.

	MENOR (μ)	MAIOR (μ)	MÉDIO (μ)
FOSFATO ZINCO + SABÃO	0,050	0,055	0,053
FOSFATO MANGANES + SABÃO	0,050	0,057	0,053
FOSFATO ORGÂNICO + SABÃO	0,070	0,080	0,073
AÇO + SABÃO	0,080	0,115	0,094
AÇO	0,135	0,300	0,186

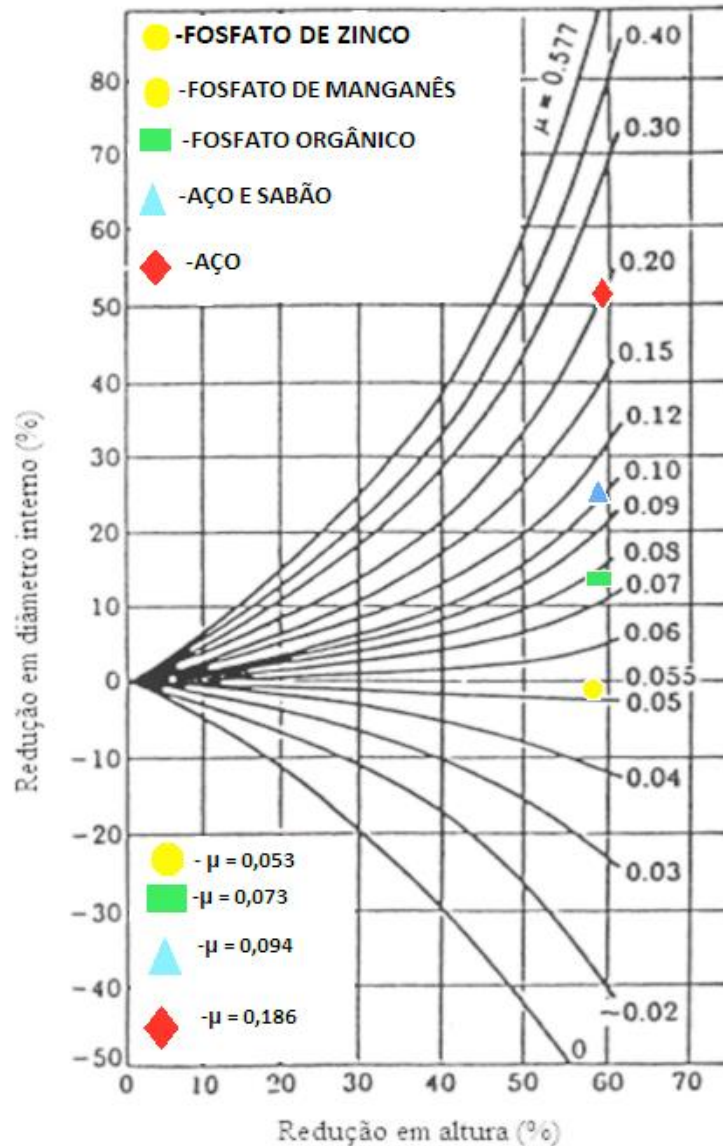


Figura 1 - Gráfico com exibição dos coeficientes de atrito médio sobre as curvas de calibração.

O fosfato de zinco se faz mais apropriado para o forjamento a frio por dois motivos, sendo: primeiro – a temperatura de trabalho do fosfato de zinco é de 70 °C e o fosfato de manganês tem temperatura de trabalho de 90 °C, ou seja, em uma grande produção, onde ocorre troca térmica entre o blanque e a solução, uma temperatura de trabalho menor vai gerar economia energética no processo a longo prazo; segundo – ao executar o ensaio de compressão se notou que o fosfato de manganês gerou resíduo ao ser comprimido, ou seja, em uma produção a longo prazo pode gerar gastos com manutenção por limpeza de matriz ou gerar acúmulo excessivo de resíduos químicos no setor, sendo este um agravante em se tratando de meio ambiente.

4 CONCLUSÃO

Este trabalho se propôs a analisar o coeficiente de atrito com base no teste do anel proposto por Kunogi (BÖRDER e SINATORA, 2006), a fim de definir o melhor substrato de fosfato para o ancoramento de lubrificante. Para isso foi

realizado o teste do anel em cinco processos diferentes, sendo, em aço sem lubrificante (SL), aço com sabão, aço com fosfato de zinco e sabão, aço fosfato de manganês e sabão, aço fosfato orgânico e sabão.

Com base nos resultados de coeficiente de atrito médio ficou evidente a eficácia do fosfato no forjamento a frio, pois, o aço SL ficou com um coeficiente de atrito médio (μ) = 0,186, sendo este o pior resultado obtido, para aço e sabão o coeficiente de atrito médio ficou (μ) = 0,094, sendo este um bom resultado comparado ao aço SL, pois se obteve 50% de redução no coeficiente; para o aço com fosfato orgânico e sabão o coeficiente de atrito médio ficou (μ) = 0,073, comparado ao aço SL teve uma melhora de 61%; para o aço com fosfato de zinco e sabão o coeficiente de atrito médio ficou (μ) = 0,053 comparado ao aço SL teve uma melhora de 72%; e comparado ao fosfato orgânico, uma melhora de 28%, para o aço com fosfato de manganês e sabão o coeficiente de atrito médio ficou (μ) = 0,053, ou seja, o mesmo resultado do fosfato de zinco.

Considerando os resultados obtidos observa-se que o fosfato de zinco e o fosfato de manganês exercem por igual a função como ancoramento para o lubrificante com um coeficiente de atrito médio (μ) = 0,053.

REFERÊNCIAS

- ARLAN, O. B., Carbon and Alloy Steels: Metallographic Techniques and Microstructures. In: ASM Handbook, **Metallography and Microstructures**. 1992.
- BÖESCH, P. R. J.; MARTINS, V.; SCHAEFFER, L., **Determinação do Coeficiente de atrito pelo ensaio de compressão do anel: uma revisão**. Revista Thema, 2011.
- BÖRDER, C., **Análise do coeficiente de atrito no ensaio do anel para o forjamento a quente**. São Paulo. EPUSP, 2006. Brasil. P.04.
- DIETER, G. E., **Metalurgia Mecânica**. 2.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1981
- GEIER, M., **Considerações sobre o Atrito para processos de Forjamento a Frio através do ensaio de compressão do anel**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. 2007.P. 82.
- GIOIA, M. S.; NETTO, A. C., **Avaliação da eficiência de processos de tratamento superficial por fosfatização em chapa de aço pintada com tinta a pó híbrida**. VI Congresso de Engenharia Mecânica. Campina Grande-PB. Brasil. Ago. 2010. Disponível em: <http://www.abcm.org.br/anais/conem/2010/PDF/CON10-0208.pdf>. Acesso em 20 Mai. 2018.
- HELMAN, H.; CETLIN, P. R.; **Fundamentos da conformação mecânica dos metais**/Horacio Helman e Paulo Roberto Cetlin. Belo Horizonte. Brasil. 1993. 2º edição. P.43.
- LANGE, K., **Handbook of Metal Forming**, McGraw-Hill Book Co, 1985. P. 1554.
- LOPES, A. F., **Avaliação de atrito por meio de teste do anel em aço médio carbono**. Rio Grande do Sul: ULBRA, 2016. Trabalho de curso de Graduação Engenharia Mecânica.
- MANGUKIA, P., Cold and Warm Forging. In: ASM Handbook, **Cold and Hot Forging: Fundamentals and Applications**. 2005.
- PANOSSIAN, Z.; SANTOS, C. A. L., Fosfatização de metais ferrosos – Parte 14 – A Qualidade da água nas etapas de lavagem. **Corrosão & Proteção**, São Paulo, v. 5, n.22, p.16-21. Julho/Agosto. 2008.

- PANOSSIAN, Z.; SANTOS, C. A. L., Fosfatização de metais ferrosos – Parte 01 – Histórico. **Corrosão & Proteção**, São Paulo, v. 5, n.09, p.22-23. Maio/Junho. 2006.
- PANOSSIAN, Z.; SANTOS, C. A. L., Fosfatização de metais ferrosos – Parte 13 – Os Estágios de um Processo de Fosfatização. **Corrosão & Proteção**, São Paulo, v. 5, n.21, p.23-24. Maio/Junho. 2008.
- PANOSSIAN, Z.; SANTOS, C. A. L., Fosfatização de metais ferrosos – Parte 16 – Decapagem e Tratamento Mecânico. **Corrosão & Proteção**, São Paulo, v. 5, n.25, p.18. Jan/Fev. 2009.
- PANOSSIAN, Z.; SANTOS, C. A. L., Fosfatização de metais ferrosos – Parte 03 – A Utilização Prática das Diferentes Camadas de Fosfatizadas. **Corrosão & Proteção**, São Paulo, v. 5, n.11, p.29. Set/Out. 2006.
- SCHAEFFER, L., **Conformação mecânica**. 2. ed. Porto Alegre, 2004.
- SCHAEFFER, L., **Forjamento** (introdução ao processo) – Porto Alegre: Imprensa Livre, 2006. P. 63.
- YAMAGUTI, R. C. L., **Avaliação de alternativas ao uso de níquel e cromatos no processo de fosfatização Tricatiônico aplicado ao aço carbono** – Instituto de pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo. Brasil. Nov. 2012. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85134/tde-24102012-085907/en.php>. Acesso em: 20 Mai. 2018.

CARACTERIZAÇÃO DE DIFERENTES TIPOS DE SOLDAS UTILIZANDO ANÁLISE MICROESTRUTURAL

Feloy.L¹
Cozzarín A.L¹
Maffía E.G¹

¹*Departamento de Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, (UNLP), 1900, BA, Argentina (ernesto.maffia@ing.unlp.edu.ar)*

Resumo

O metalúrgico da atualidade tem ao seu alcance diversas técnicas de estudo de materiais, contudo, a microscopia de reflexão óptica continua, ainda hoje, sendo uma técnica eficiente para estudar a microestrutura. Esta ferramenta permite comparar e identificar diversas características micro estruturais e quando a combinamos com conhecimentos de metalurgia física, torna-se uma poderosa ferramenta de diagnóstico.

Este trabalho de investigação utiliza o ensaio de micro dureza e a microscopia de reflexão óptica e eletrônica para caracterizar as mudanças na estrutura do material ocasionadas por processos de fabricação que utilizam solda de natureza diferente. Por um lado, contempla-se a união realizada mediante o processo TIG (solda por arco com eletrodo de tungstênio), que produz a fusão de uma pequena parte da estrutura. Por outro lado, são estudadas as características do processo de solda por fricção-agitação, onde a união é produzida pela mistura de materiais sem fusão, mas com recristalização e modificação do tamanho do grão.

Este estudo mostra que a análise microestructural de uma solda é ferramenta adequada para revelar os detalhes da estrutura soldada, como segregação, forma e distribuição de precipitados, tamanho do grão, linhas de fluxo, entre outros aspectos. As medidas de micro dureza completam a compreensão dos efeitos que estas características produzem nas propriedades.

Palabras claves: solda-caracterização-microestructura-alumínio

CHARACTERIZATION OF DIFFERENT TYPES OF WELDING USING MICROSTRUCTURAL ANALYSIS

Abstract

Although today's metallurgists have diverse and novel techniques to study materials, optical reflection microscopy continues to be an efficient technique to study microstructure. This tool allows to compare and identify various micro structural characteristics and when it is combined with knowledge of physical metallurgy, it becomes a powerful diagnostic tool.

In this research work, the micro hardness test and the optical and electronic reflection microscopy are used to characterize changes, in the structure of the material, that are produced due to different manufacturing processes of welding. On the one hand, the union made by the TIG process (arc welding with tungsten electrode), where fusion of a small part of the structure occurs is considered. On the other hand, characteristics of the friction-stir welding process where the union is produced by mixing materials without fusion, but with recrystallization and modification of the grain size are studied.

This study shows that microstructural analysis of a weld bead is an adequate tool to reveal details of the welded structure, such as segregation, shape and distribution of precipitates, grain size, flow lines. Results of the microhardness study perfect understanding of the effects that these characteristics produce on properties.

Keywords: welding-characterization-micro structure-aluminum

Introduction

In modern manufacturing there are innumerable examples of structural parts and assemblies that use optical reflection microscopy as a tool to examine the integrity and micro structural characteristics of weld seams. We can mention the metallic structures of high strength aluminum, or dissimilar metals welding, among several examples that appear in the industrial sector. All of them with difficult solders because, in the processes of welding by electric arc, the heat provided produces softening in the area of the welded joint or in other cases, for example, in weld friction of different metals, the shape of the type of welding can create intermetallic phases of fragile nature for the strength of the joint. This case is contemplated by Jiahu Ouyang et al, where researchers studied the microstructural evolution of friction-stir welding (FSW) between aluminum 6061 (Temper T6) and copper. The optical reflection microscopy helped to visualize a considerable discontinuity and propagation of cracks in the welded bead, which represents the poor weldability of the bead (1).

On the other, optical microscopy can also be of great help in the search for FSW parameters. The macro structure of the weld between the 5002 aluminum alloy and the pure copper exposes the microstructure aspects of joints produced at different speeds of travel (2) which allows to choose the correct speed.

Similar use of the technique of optical microscopy makes R Murugan et al. These researchers use technique to identify the effects of friction-stir welding process on the microstructure of copper and bronze plates. Studies on micrographs report dynamically recrystallized structures. The material presents a uniform distribution of copper and bronze particles in the welded zone. Each region of the agitation zone received different thermo mechanical effects. The central region of the welding zone shows a very fine grain structure due to recrystallization caused by shear deformation and heat of the friction (3).

Optical microscopy is also used to characterize and compare different welding processes on the same material. This idea is observed in the research work of S.

Prem Kumar et al, where they studied the welding between plates of 6 mm thickness of a magnesium alloy AZ91 by a process of welding by friction-stirring and welding by arc of tungsten with gas (GTAW). The integrity of the joints was analyzed with the help of an optical microscope, in addition to identifying the various zones and their grain structure, defects were also observed through the analysis of micro and macro structure. Defects such as the lack of union, formation of cracks, lack of inclusion, lack of fusion speed, linear misalignment, were observed in the GTAW process due to the high generation of heat. However, in the case of FSW, welded joints showed slight defects; and no pores were observed because application of pressure produces a "forge effect" during the welding process (4). As it is observed, this point of view is wide: the optical reflection microscopy is always the tool to use to characterize the structural integrity of a welding.

In this research work optical and electronic reflection microscopy is used to characterize the structure of the material due to different manufacturing processes by welding. On the one hand, the union made by the TIG process (arc welding with tungsten electrode) where the fusion of a small part of the structure occurs is considered. On the other hand, we have the friction-stir welding process where the union is produced by mixing the materials without fusion, but with recrystallization and modification of the grain size. The microstructural analysis is complemented with the micro hardness test

Experimental

The microstructure of butt welds made in a high strength aluminum structure (AA 2219) welded by TIG process, with the contribution of AA 2319 alloy wire and a weld bead made by the friction welding process (FSW) using a rotation speed of 1000 rpm and an advance of 30 mm / min as welding parameters in sheets of alloy AA 2219 T81 is studied.

To characterize the microstructure of the cord and the area affected by the welding process, the microstructure of the material under study is analyzed by means of optical microscopy (LEICA) and electronics (SEM-QUANTA 2000). Vicker micro hardness measurements are also taken, with a Future Tech FM-700 microdurometer with a 10 g load with a duration of 10 seconds. The reagents used for the metallographic preparation were Keller and Graff. Samples of the welds made by friction, were prepared by polishing and anodizing, using fluoroboric acid as electrolyte, with a voltage of 24 V and an approximate current of 0.05 A / cm². Micrographs of the welded zone and its adjacencies are obtained with polarized light.

Results

Micro hardness tests in an arc welding (TIG)

Figure 1 shows a diagram of the regions affected by the welding of AA2219 alloy plates. There are differentiated zones: the main bead, called fusion zone, then

the transition (which is a partially melted region), the area affected by heat, (HAZ) and the base metal (BM).

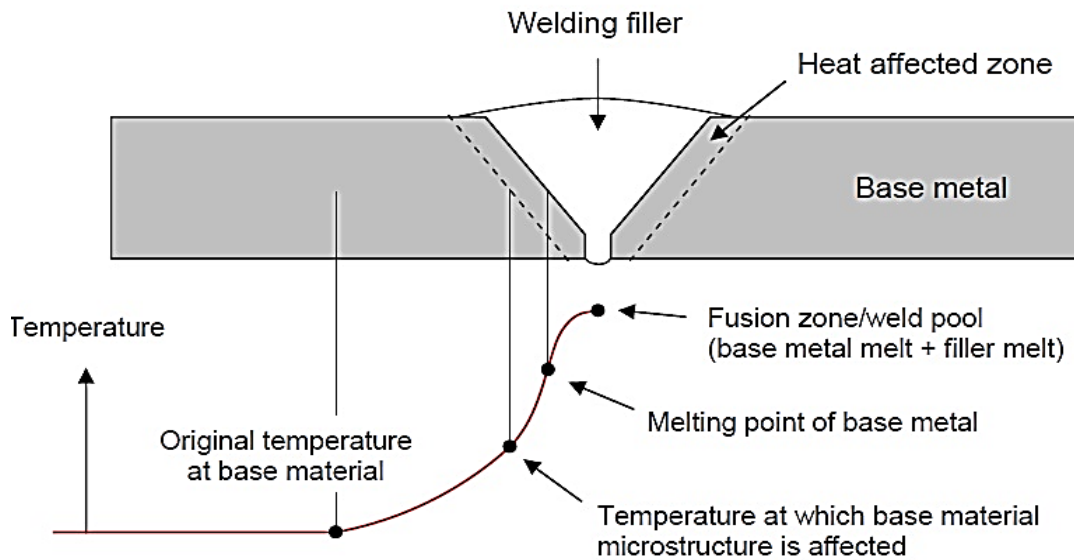


Figure1.Regions of influence of a TIG welding

(<https://malvinkurniawan.wordpress.com/2013/02/03/offshore-pipeline-welding>)

The microhardness test (vicker hardness) is used to complement the microstructural analysis and, in addition, to know the influence of the process on the properties of the weld. Since the hardness of a material is an empirical data that allows to correlate its value with resistance to deformation, its results become relevant since they report the properties of the material. The results are presented in table 1.

Table 1: Microhardness values obtained in the cross section of an AA2219 plate weld bead with AA2319 contribution, without post-weld treatment

fusión zone [HV]	transición [HV]	HAZ [HV]	Base metal [HV]
91 ±4	86±4	94±2	119±4

Since hardness is directly related to plastic deformation, a low hardness value indicates a softer, less resistant material, making that region the weakest of the assembly and the one that possibly breaks first before the application of external loads. As it is observed from previous data, the lowest values of hardness are presented in the corresponding zone the transition between the fusion zone and the HAZ (there is 20% decrease in the hardness). Resistance increases when moving towards the base material. However, the area of ZAC near the transition has been solubilized, so it will harden by natural aging, increasing the value from 86 ± 4 to 98 ± 4 .

Microstructural analysis of welding

Micro-structural state of a TIG weld bead and its adjacencies is studied through the analysis of micrographs. The microstructure that forms the material of contribution with part of the base material and the areas affected by the heat, show the effect of variables of the process. The HAZ deserves a separate paragraph. This area is affected in two different ways. On the one hand, there is a place, next to the fusion zone, where the highest temperatures are reached: the solubilization of the material that takes place there makes the aging effect disappear. This situation leaves the material ready for precipitation to occur again (natural or artificial). Grains can also thicken in this area, which makes it impossible to obtain the same elongation at the fracture as before welding. There is a second zone that undergoes lower temperatures, and it is there where the phenomenon of over aging can take place; that is to say, decrease of resistance and hardness of the material. Properties result from the heat of the process, which acts by eliminating the effects of cold work or hardening by precipitation. Thus, hardness and strength decrease in the area affected by heat, while the resistance of the weld bead is not affected by depending on the chemical composition of the filler material. With pure aluminum, but also with certain alloys, it is also possible to observe the growth of grain in the area affected by heat, which also produces a negative impact on resistance and plasticity of the area. Figure 2 shows the microstructure of the fusion zone (FZ), which has dendritic grains from an alloy that has undergone the process of fusion and solidification out of balance. Grain structure is equiaxed and each grain has similar dimensions, with an average diameter of 3 μm . With these magnifications precipitates are not observed, but dendrites are well delineated within each grain, which is an indicator of segregation and grouping of alloys in the last liquid to solidify; This micrographic data indicates that the weld bead will have a decrease in properties since these alloys will not be available to precipitate and harden the alloy. Thus, the need to apply a heat treatment to recover the propertie arises. On the other hand, in Figure 3, microstructural transition between the molten zone of the weld bead, the ZAC and the base material is shown. Optical microscopy does not allow to distinguish any relevant microstructural feature, besides observing a grain size of similar dimensions throughout this area.

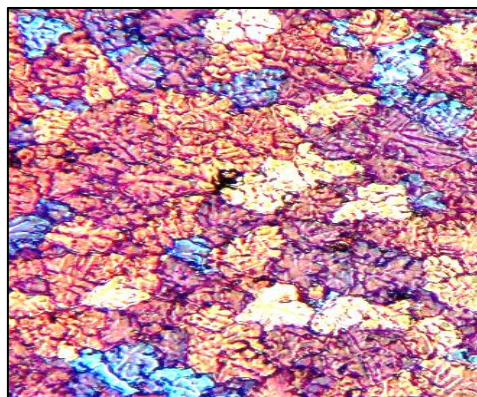


Figure 2: The fusion zone

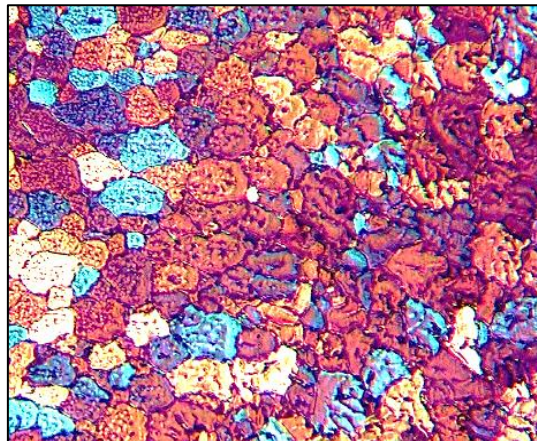


Figure 3: Region of contact between the base metal and the fusion zone

Friction welding - agitation

Experiments with friction-stir welding in the alloy AA 2219-T81 with speeds of 1000 RPM and 1250 RPM while maintaining the fixed feed rate at 30 mm / min, with a degree of inclination of the tool axis of 3° with respect to the perpendicular of the plane of the base material, towards the opposite side to the advance were performed. A sheet of French origin 5 mm thick was used. Work on the alloy AA 2219 seeks to obtain sound welds that meet the acceptance criteria of ISO 25239-4, Friction Stir Welding. Aluminum "and" AWS D17.3 / D17.3M: 2010, Specification for Friction Stir Welding of Aluminum Alloys for Aerospace

Micro hardness tests

A hardness scan from a base material to the agitation zone, in the weld bead made by the friction-stirring process is made. The sweep scheme is shown in Figure 4.

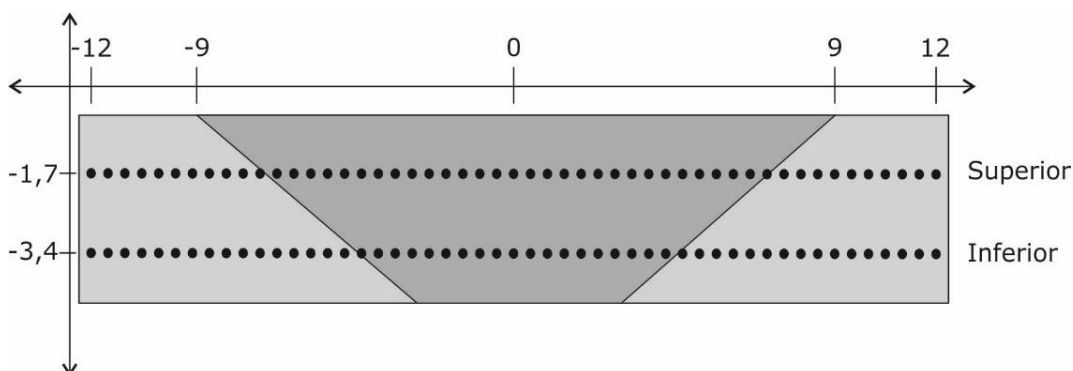


Figure 4: Measurements of microhardness in welding of alloy AA 2219-T81

Two sweeps of 49 imprints, with 12 mm for each side of the bead, with a spacing between imprints of 0.5 are made. One of the sweeps, identified as superior, was made at 1.7 mm from the upper plane of the plates, while the second, called inferior, was carried out at 1.7 mm from the previous one. Figure 5 shows test result

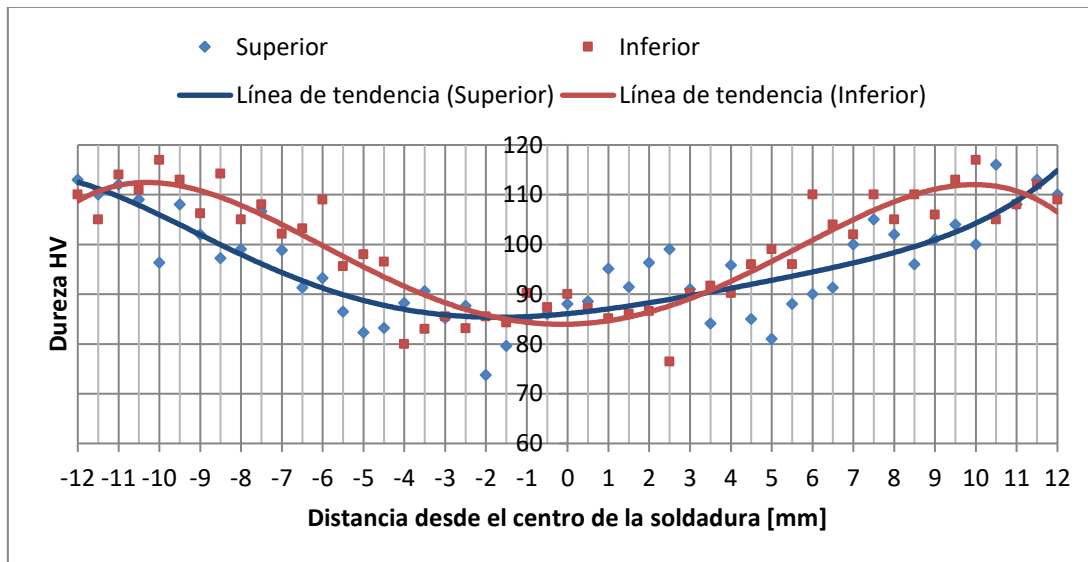


Figure 5: Hardness measurements as a function of distance in the weld bead of the AA 2219-T81 alloy

The result shows that when moving towards the center of the weld, hardness of the upper sweep falls before hardness of the lower sweep. Explanation of this phenomenon lies in two basic aspects, one is that the contribution of heat in the upper part of the sheets is superior and on the other hand the conical geometry of the bead. In addition to the obvious observation of hardness drop within the weld bead, the heat affected zone (ZAC) does not appear to be more than 2 mm thick outside the weld bead.

Micrographic analysis of friction-stir welding

The objective of the micrographic analysis is to assess the integrity of the bead and some micro structural characteristics related to heat input and deformation that influence properties of the welded joint of the AA 2219-T81 alloy. In the diagram of Figure 6 it can be observe the zones generated by friction-stir welding: on the one hand, we have the stir zone where the material undergoes a strong recrystallization; in a thermo mechanically affected zone (TMAZ) material undergoes dynamic recrystallization and finally a zone only affected by heat (HAZ) where material recrystallizes in a static way.

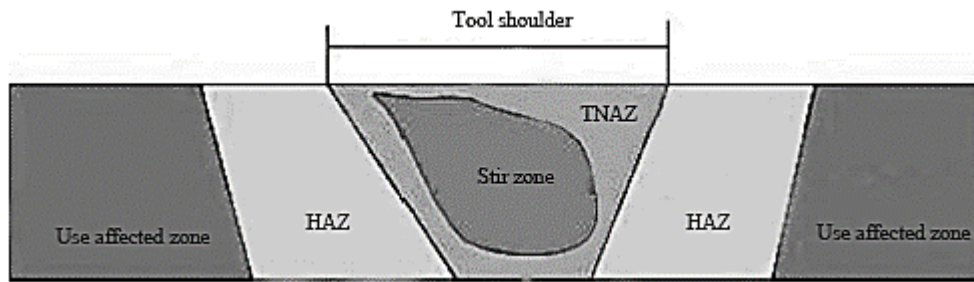


Figure 6: Diagram of the area affected by the friction-stir welding process
(<https://scialert.net/fulltext/?doi=itj.2016.99.107>)

Figure 7 shows a real micrograph of the AA 2219-T81 alloy welding. Grain structure and the different zones are observed. The optical micrographs only allow to observe modifications that the process produces in the morphology of the grains, as well as the lines of flow of the material. In this micrograph, the bead looks healthy, without defects in the base and with an optimal depth. Analysis with optical micrographics barely allows to see the grain structure of the material and the plastic flow lines and it is not possible to clearly delimit grain boundaries and to distinguish precipitates. To observe the type and shape of hardened precipitates, transmission microscopy is required, but this technique is outside the scope of this work.

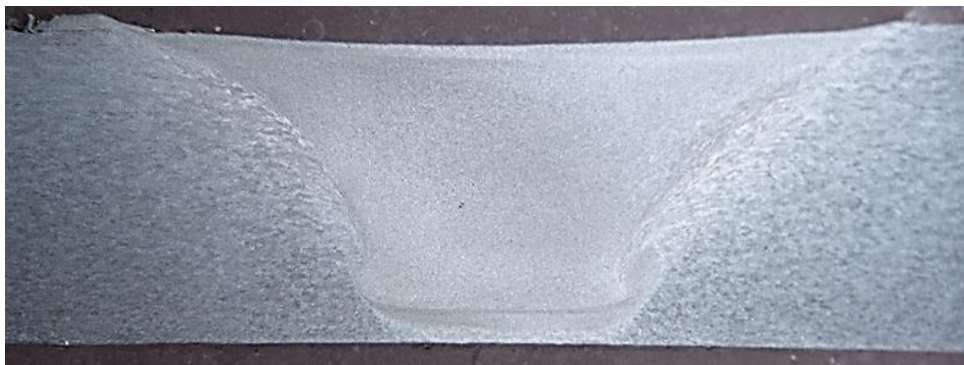


Figure 7: Optical micrograph of sample welded by friction-agitation in alloy 2219-T81

A deeper metallographic study of the bead material reveals that the thermo-mechanical process that occurs in this region causes a structure of recrystallized grains with an average diameter of approximately 1 to 3 μm . Without the need to delve into details, any recrystallization process involves a loss in strength and hardness. While they should be compensated by increased strength and hardness by decreasing grain size, this does not happen.

So there are other events that justify the loss of properties. One aspect to take into account, in addition to the recrystallization process, is distribution and size of precipitates. A part of them is generated when the amount of solute in the alloy exceeds the equilibrium value: this causes large indissoluble particles to remain

in the matrix, while a smaller volume precipitates as coherent groupings, of smaller size to the micrometer. These precipitates are what certainly modify properties.

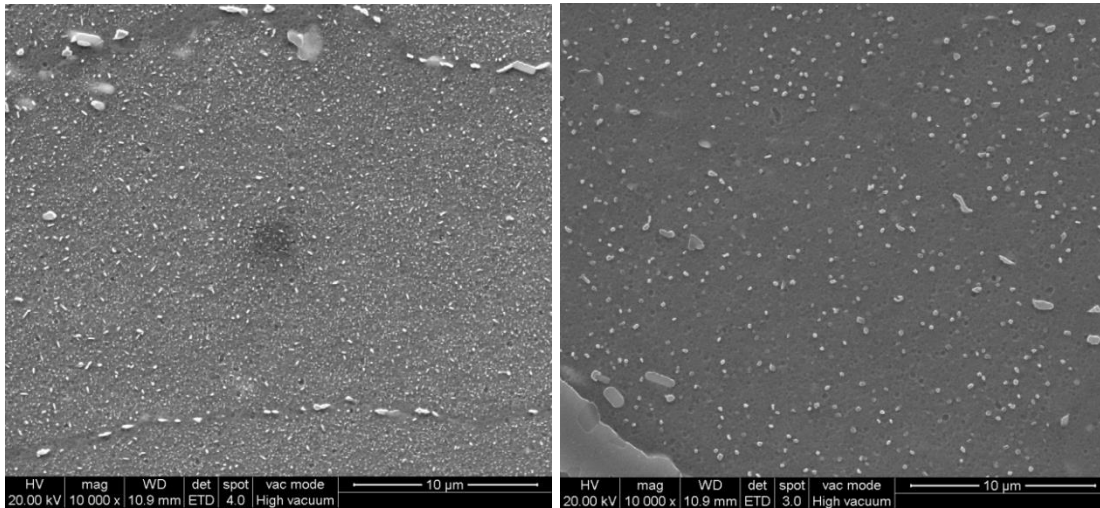


Figure 9: (left) distribution of precipitates in the base material, (right) in stir zone of the alloy AA 2219-T81

In order to study morphology and distribution of precipitated particles, scanning electron microscopy (SEM) is used in this work. This technique allows to observe morphology and distribution of incoherent precipitates, as seen in figure 9, and with sizes of the order of nanometer. The micrographic analysis allows to understand what happens with heat in size of precipitates. In figure 9 (a) the base material is observed. Precipitates (white spots) are regularly distributed and are around 70 nm in size. While in the shaking zone - Figure 9 (b) - precipitates look significantly larger (0.5 µm) and they are more spaced.

The thickening of precipitates can only be produced by a contribution of excessive heat, which is called "over-aging" of particle. This becomes sizes of the micrometer order and with incoherent interface, which does not have great effects on the hardness.

Translation of what was observed in mechanical properties means a clear decrease in resistance of the recrystallized zone as observed in the microhardness test (fig.6).

Therefore, since this growth process is always thermally activated, the only solution to avoid it is to lower temperature (for example by modifying the design of the tool or increasing speed of advance) and shorten exposure times to it so as not to give time to develop large precipitates.

It is concluded that this structural analysis helps to find the most suitable parameters for friction-stir welding.

Conclusions

This research work has the purpose of exposing the scope of the characterization procedure by microscopy using TIG-welded and friction-stirring sheets.

This study reveals that a microstructural analysis of a weld bead from optical micrographs is adequate to reveal details of the welded structure (such as segregation, shape and distribution of precipitates, grain size, flow lines) and also microstructural analysis allows to conform a subjective index of reliability of the manufacturing process.

It is concluded that microstructural analysis is a technique capable of assessing the complexity of bonding material in any welded structure.

Acknowledgement: the authors wish to thank the PROINTEC group for providing the facilities and equipment

Bibliography

1. Jiahu Ouyang, Eswar Yarrapareddy, Radovan Kovacevic, Jiahu Ouyang, Eswar Yarrapareddy, Radovan Kovacevic. Microstructural evolution in the friction stir welded 6061 aluminum alloy (T6-temper condition) to copper. *Journal of Materials Processing Technology* 172 (2006) 110–122
2. C.W. Tan, Z.G. Jiang, L.Q. Li, Y.B. Chen, X.Y. Chen. Microstructural evolution and mechanical properties of dissimilar Al–Cu joints produced by friction stir welding. *Materials and Design* 51 (2013) 466–473
3. R Murugan, N Thirumalaisamy. Experimental and numerical analysis of friction stir welded dissimilar copper and bronze plates *Materials Today: Proceedings* 5 (2018) 803–809
4. S.Prem Kumar, M.Vigneshwar, S.T.Selvamani, A.Shyam Prakash, P.Hariprasath. The Comparative Analysis on Friction Stir Welded and Gas Tungsten Arc Welded AZ91 Grade Magnesium Alloy Butt Joints. *Materials Today: Proceedings* 4 (2017) 6688–6696

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE BUTIÁ (*BUTIA CAPITATA*)

Oswald, C.¹
Kuhn, C.R.²
Foster, H. B.³
Toralles, R.P.⁴
Olendzki, R.N.⁵

¹ Bolsista, Caroline Oswald, Instituto Federal Sul-rio-grandense, caroline.oswald1@gmail.com

² Professor coordenador, Claudio Rafael Kuhn, Instituto Federal Sul-rio-grandense, crkuhn@pelotas.ifsul.edu.br

³ Bolsista, Helena Bettin Foster, Instituto Federal Sul-rio-grandense, bettinfoster@gmail.com

⁴ Professor colaborador, Ricardo Peraça Toralles, Instituto Federal Sul-rio-grandense, EMAIL

⁵ Professor colaborador, Rodrigo Nogueira Olendzki, Instituto Federal Sul-rio-grandense EMAIL

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

Resumo

A região Sul do estado do Rio Grande do Sul destaca-se pela ocorrência do butiá (*Butia capitata*), fruta nativa ainda com grande potencial de exploração. Visando a sua utilização como inóculo natural de levedura para obtenção de bebida fermentada a partir do mosto da fruta, fez-se necessária a avaliação de parâmetros físico-químicos do butiá, que foi objetivo deste trabalho. Para tanto, os parâmetros físico-químicos avaliados foram pH (método potenciométrico a 20°C), acidez total (titulometria com NaOH 0,1N) e sólidos solúveis totais (leitura em refratômetro de Abbé a 20°C), tendo as análises sido realizadas em triplicata. Obteve-se acidez total média igual à 1,95 g de ácidos totais/100g de butiá, e 125,04 e 130,90 g de ácidos totais/100g de butiá para ácido cítrico e málico, respectivamente. O pH médio das amostras esteve em 4,49 e a análise de sólidos solúveis totais apresentou um valor médio de 13,62°Brix. Os resultados foram considerados padrões normais para a fruta em sua época de colheita.

Palavras-chave: Butiá; Frutos nativos; Caracterização físico-química; *Butia capitata*.

PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERIZATION OF WOOLY JELLY PALM FRUIT (*BUTIA CAPITATA*)

Abstract

The southern region of the state of Rio Grande do Sul stands out due to the occurrence of the wooly jelly palm fruit (*Butia capitata*), native fruit still with great exploitation potential. Aiming at its use as a natural inoculum of yeast to obtain a fermented beverage from the fruit wort, it was necessary to evaluate the physical-chemical parameters of the wooly jelly palm fruit. For this purpose, the physical-chemical parameters evaluated were pH (potentiometric method at 20°C), total acidity (titration with 0.1N NaOH) and total soluble solids (Abbé refractometer reading at 20°C). With analysis performed in triplicate. The obtained total acidity was equal to 1.95 g of total acids / 100 g of wooly jelly palm fruit and 125.04 and 130.90 g of total acids / 100 g of wooly jelly palm fruit for citric and malic acid, respectively. The mean pH of the samples

was 4.49 and the analysis of total soluble solids had an average value of 13.62 ° Brix. The results were considered normal patterns for the fruit in its harvesting season.

Key words: Woolly jelly palm fruit; Native fruits; Physicochemical characterization; *Butia capitata*.

1 INTRODUÇÃO

A região Sul do estado do Rio Grande do Sul destaca-se pela ocorrência do butiá, fruta nativa da família *Arecaceae* que, embora abundante, é pouco explorada, entre outras razões, por decompor-se rapidamente. Sensorialmente os frutos são descritos como globosos, doce-acidulados, suculentos e com sabor e aroma intensos. Tais características tornam os frutos de butiá atrativos para o consumo tanto *in natura* ou como matéria-prima na produção de sucos, licores, geleias, sorvetes, bolos, entre outros produtos, como o óleo extraído da amêndoa.⁽¹⁾⁽²⁾ Sua utilização para a obtenção de produtos agroindustriais ainda carece de maiores estudos, para sua melhor utilização e diversificação, além do consumo *in natura*.⁽³⁾

A fermentação de sucos de frutas variadas e características de cada região tem sido objeto de alguns estudos, como por exemplo, a maçã,⁽⁴⁾⁽⁵⁾ manga,⁽⁶⁾ laranja,⁽⁷⁾ ata, seriguela e mangaba,⁽⁸⁾ jabuticaba,⁽⁹⁾ cajá,⁽¹⁰⁾ e kiwi.⁽¹¹⁾ Contudo, normalmente são estudadas condições de processo utilizando cepas comerciais da levedura *Saccharomyces cerevisiae*, para obtenção de produtos próximos às características dos produtos comerciais já existentes.

A fabricação de um fermentado alcoólico de butiá poderá ser uma boa alternativa para o aproveitamento de excedentes de safra. A comercialização visa minimizar o desperdício e desenvolver as agroindústrias regionais, colaborando diretamente para o crescimento econômico da região.⁽¹²⁾ Para o desenvolvimento de tal produto, faz-se necessário o estudo das condições da matéria-prima.

A identificação da levedura *Saccharomyces cerevisiae* no butiá permitiria a sua utilização posterior como inóculo natural para a fermentação do mosto da fruta, para obtenção de uma bebida com características de vinhos de frutas. Para tanto, torna-se necessário estudos relacionados às características inerentes à fruta, principalmente análises do ponto de vista físico químico, que juntamente a outros parâmetros, são essenciais para avaliar a qualidade do suco como potencial meio para utilização da levedura, e ainda visam caracterizar a fruta para o desenvolvimento de produtos que a tenham como ingrediente principal. Para o controle de qualidade de polpas de frutas, parâmetros como acidez titulável, sólidos totais, sólidos solúveis, glicídios redutores, vitamina C, pH e umidade são importantes para a padronização do produto e a análise de alterações ocorridas durante processamento e armazenamento e podem influenciar diretamente na atuação das leveduras.⁽²⁾

As características físico-químicas do butiá e a caracterização dos compostos voláteis presentes na fruta foram reportadas por Ferrão⁽¹³⁾, utilizando os parâmetros de sólidos solúveis totais, acidez total e pH, demonstrando a viabilidade da sua utilização para o desenvolvimento de um fermentado, para a espécie *Butia odorata*. Segundo Franco⁽¹⁴⁾, o butiá apresenta, em 100 g de polpa, cerca de 11,4 g de glicídios, 1,8 g de proteína, 1,5 g de lipídios, 23 mg de cálcio, 24 mg de fósforo, 40 mg de tiamina e riboflavina, além de ser boa fonte de vitamina C, apresentando 33 mg desta vitamina.

Nesse sentido, objetivou-se os parâmetros físico-químicas (acidez, pH e sólidos solúveis) do extrato de butiá da espécie *Butia capitata*, para contribuir com futuro estudo, utilizando esses dados para a avaliação do seu potencial de utilização na obtenção de produtos fermentados a base de butiá.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As amostras de butiá (*Butia capitata*), provenientes do município de Pelotas/RS, foram colhidas na época de maturação da fruta, no período entre novembro/2017 e março/2018, armazenadas sob congelamento até o período de análise. As análises (10 lotes em triplicata) foram realizadas no Laboratório de Análises Microbiológicas (LAMI) do Curso de Química do Instituto Federal Sul-rio-grandense (IFSul – Campus Pelotas). Foram avaliados parâmetros como pH através de método potenciométrico a 20°C; teor de sólidos solúveis expressos em °Brix utilizando refratômetro de Abbé a 20°C e acidez por titulometria com NaOH 0,1N, expressa em acidez total, ácido cítrico e málico, todas em conformidade com as normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz⁽¹⁵⁾.

Para o tratamento de dados fez-se uma análise estatística descritiva dos resultados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos a partir da análise das amostras (Tab. 01) foram considerados normais para a fruta em sua época de colheita, além de, possivelmente, indicar que um mosto feito a partir de frutos que possuam tais características tem potencial para ser utilizado em processos fermentativos.

Tabela 1. Valores médios das análises físico-químicas da polpa de frutos de butiá (*Butia capitata*)

Análises	Resultado
Acidez total (g ác. totais/ 100g butiá)	1.95±0,19
Ácido cítrico (mg ác./ 100g butiá)	125,04
Ácido málico (mg ác./ 100g butiá)	130,90
pH	4,49±0,14
Sólidos solúveis (°Brix)	13,62±0,78

Em relação ao pH, existe grande variação neste parâmetro para frutos da espécie em questão, tendo Sganzerla⁽¹⁶⁾ encontrado valor de 2,5, e Schwartz⁽¹⁷⁾ 3,05. Schlindwein et al.⁽¹⁸⁾ relatam valores entre 2,91 e 3,53. Esta variação pode ser influenciada por diversos fatores, dentre eles, o tipo de solo e sua acidez, bem como variações climáticas e de região.⁽²⁾

Segundo Zingler et al.⁽¹²⁾, na utilização do mosto em processos fermentativos, pode ser necessária uma correção do pH do mosto até 4,0 com bicarbonato de sódio para uma melhor adaptação das leveduras para produção de álcool. Nesse sentido, caso o inóculo seja nativo da fruta, é possível que valores próximos a este, como apresentados pela amostra, já sejam suficientes.

A análise de sólidos solúveis totais apresentou valor intermediário aos relatados por Schlindwein et al.⁽¹⁸⁾, onde os frutos de butiá analisados apresentaram-se na faixa de 10,28 e 14,25°Brix. Para essa mesma espécie, valores ainda menores foram

encontrados por Sganzerla,⁽¹⁶⁾ com 11°Brix, e por Schwartz,⁽¹⁷⁾ com 11,71°Brix. Essas diferenças podem ser atribuídas a quantidade de luz solar recebida pela planta, pelo tipo de solo e sua hidrologia, bem como, estarem associadas a condições edafoclimáticas e ao grau de maturação das frutas.⁽¹⁷⁾

No mosto preparado para a etapa de fermentação, Zingler et al.⁽¹²⁾ obtiveram em dois ensaios 16,5°Brix e 27,6°Brix, valores estes acima dos encontrados no presente estudo, o que pode indicar a necessidade de adição de sacarose ou outros açúcares para possibilitar a fermentação alcoólica de um mosto preparado a partir dos frutos analisados.

A relação Brix/acidez, segundo Magro et al.⁽²⁾, indica o grau de equilíbrio entre o teor de açúcares e ácidos orgânicos do fruto e está diretamente relacionada à sua qualidade quanto ao atributo sabor. Embora não apresentem relação linear, os parâmetros pH e acidez titulável estão relacionados, uma vez que o acréscimo na acidez titulável pode implicar no decréscimo do pH.⁽²⁾ Schlindwein et al.⁽¹⁸⁾ encontrou valores de acidez total titulável entre 1,09 e 1,85% ácido cítrico, mostrando-se bem abaixo dos valores encontrados no presente estudo. Contudo, No mosto pronto para a etapa de fermentação, Zingler et al.⁽¹²⁾ obtiveram valores de acidez (g/100ml) de 0,7650 e 1,9500, onde este último corresponde ao valor de acidez total encontrado na amostra analisada.

O teor de acidez contribui para a manutenção das características do fruto durante o armazenamento, pois inibe o crescimento microbiano, principalmente de mofo e leveduras⁽¹⁹⁾; além disso proporciona maior rendimento nas indústrias de suco.⁽¹⁷⁾ Os ácidos orgânicos são produtos intermediários do metabolismo respiratório dos frutos e são muito importantes do ponto de vista do sabor e odor.⁽²⁾

4 CONCLUSÃO

Na caracterização físico-química obteve-se uma acidez total média igual à 1,95 g de ácidos totais/100g de butiá. O pH médio das amostras encontrado foi igual a 4,49 e a análise de sólidos solúveis totais resultou em um valor médio de 13,62°Brix, considerados padrões normais para a fruta e época de colheita

Dentro deste cenário, as condições são favoráveis para utilização do mosto em processos fermentativos, com estudos complementares mais aprofundados em relação à constituição dos açúcares (fermentescíveis ou não) que pertencem a totalidade de sólidos solúveis totais presentes, que pode vir a ser um fator determinante para a etapa de fermentação.

Estes dados propõem que o butiá é uma fruta com grande potencial comercial, especialmente na produção de fermentados a partir dela, e adequada para o desenvolvimento de um mosto com inóculo natural de levedura.

Agradecimentos

Ao IFSUL/CNPq, pela bolsa de estudos (Edital 03/2017) e fomento à pesquisa (Edital 02/2017).

Ao Curso Técnico em Química, pela estrutura e apoio técnico disponibilizados.

REFERÊNCIAS

- 1 BÜTTOW, M. BARBIERI, R.L.; NEITZKE, R.S.; HEIDEN, G. Conhecimento tradicional associado ao uso de Butiás (*Butia spp.*, *Arecaceae*) no sul do Brasil. Revista Brasileira de Fruticultura. Jaboticabal -SP, v.31, n.4, p.1069-1075. 2009.
- 2 MAGRO, N.G.D; COELHO, S. R. M.; HAIDA, K. S.; BERTÉ, S. D.; MORAES, S.S. de. Comparação físico-química de frutos congelados de *Butia eriospatha* (Mart.) Becc. do Paraná e Santa Catarina – Brasil. Revista Varia Scientia, Cascavel, v.6, n.11, p.33-42, 2006.
- 3 BERNARDI, G. Desenvolvimento e caracterização físico-química e sensorial de fermentados de butiá (*Butia odorata*). 2013. 85p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos. Universidade Federal de Santa Maria-UFSM, Santa Maria, RS, 2013.
- 4 JOSHI, V. K.; BHUTANI, V. P. The influence of enzymatic clarification in fermentation behavior and qualities of apple wine. Science des Aliments, v. n. 3, p. 491-498, 1991.
- 5 JOSHI, V. K.; SANDHU, D. K.; ATTRI, B. L.; WALLA, R. K. Cider preparation from apple juice concentrate and its consumer acceptability. Indian Journal of Horticulture, v. 48, p. 321- 327, 1991.
- 6 REDDY, L. V. A.; REDDY, O. V. S. Production and characterization of wine from mango fruit (*Mangifera indica* L). World Journal of Microbiology & Biotechnology, Oxford, v. 21, n. 8-9, p. 1345-1350, Dec. 2005.
- 7 CORAZZA, M. L.; RODRIGUES, D. G.; NOZAKI, J. Preparação e Caracterização do vinho de laranja. Química Nova, v.24, n. 4, p. 449-452, ago. 2001.
- 8 MUNIZ, C. R.; BORGES, M. F.; ABREU, F. A. P.; NASSU, R. T.; FREITAS, C. A. S. Bebidas fermentadas a partir de frutos tropicais. Boletim do CEPPA, v. 20, n. 2, p. 309-322, jul./dez. 2002.
- 9 ASQUIERI, E.R.; CANDIDO, M.A.; DAMIANI, C.; ASSIS, E.M. Fabricación de vino blanco y tinto de jaboticaba (*Mirciaria jaboticaba* Berg) utilizando la pulpa y la cáscara respectivamente. Alimentaria, v. 355, n. 1, p. 97-109, 2004.
- 10 DIAS, D. R.; SCHAWN, R. F.; LIMA, L. C. O. Metodologia para elaboração de fermentado de cajá (*Spondias mombin* L.). Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v. 23 n. 3, p. 342, set./dez. 2003.
- 11 BORTOLINI, F.; SANT'ANNA, E.S.; TORRES, R.C. Comportamento das fermentações alcoólicas e acéticas de sucos de kiwi (*Actinidia deliciosa*); composição dos mostos e métodos de fermentação acética. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v. 21, n. 2, p. 236-243, maio/ago. 2001.
- 12 ZINGLER, F. M.; CARLESSO, F.; RIBEIRO, G. R.; TERRA, L. M. Processo de fermentação alcoólica e caracterização do fermentado de butiá (*Butia eriospatha* Mart. Ex Drude). VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, Uberlândia - MG, 2009.
- 13 FERRÃO, T. S. Compostos voláteis e parâmetros de qualidade de diferentes genótipos de frutos de *Butia odorata*. 2012. 90p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.
- 14 FRANCO, G. Tabela de composição química dos alimentos. 9. ed. São Paulo: Atheneu, 1999.
- 15 INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas analíticas: métodos químicos e físicos para análise de alimentos. Imprensa Oficial do Estado. São Paulo, p.180, 485-502. 1985.

- 16 SGANZERLA, M. Caracterização físico-química e capacidade antioxidante do butiá. 2011. 101f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Curso de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2011.
- 17 SCHWARTZ, E. Produção, fenologia e qualidade dos frutos de *Butia capitata* em populações de Santa Vitória do Palmar. Tese (Doutorado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2008.
- 18 SCHLINDWEIN, G.; TONIETTO, S.M.; TONIETTO, A.; AZAMBUJA, A.C.; FAVRETO, R.; PERINI, C.B. Caracterização física e química dos frutos de butiazeiro em Arambaré, RS. In: SIMPÓSIO NACIONAL DO MORANGO, 3. E ENCONTRO SOBRE PEQUENAS FRUTAS E FRUTAS NATIVAS DO MERCOSUL, 2., 2006, Pelotas. Anais do... Pelotas: Embrapa, 2006. p.282-285.
- 19 BORGES, G.S.; SGANZERLA, M.; ZAMBIAZI, R.C. Caracterização química de frutos de butiá. IN: CONGRESSO DE CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS DE CASCAVEL E SIMPÓSIO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS DO MERCOSUL, 2., 2006, Cascavel. Anais do... Cascavel: Unioeste, 2006.

CARACTERIZAÇÃO MICROBIOLÓGICA DO SUCO DE BUTIÁ (*BUTIÁ CAPITATA*)

Foster, H. B.¹

Oswald, C.²

Kuhn, C.R.³

Toralles, R.P.⁴

Olendzki, R.N.⁵

¹ Bolsista, Helena Bettin Foster, Instituto Federal Sul-Rio-grandense, bettinfoster@gmail.com.

² Bolsista, Caroline Oswald, Instituto Federal Sul-Rio-grandense, Caroline.oswald1@gmail.com.

³ Professor coordenador, Claudio Rafael Kuhn, Instituto Federal Sul-Rio-grandense, crkuhn@pelotas.ifsul.edu.br.

⁴ Professor colaborador, Ricardo Peraça Toralles, Instituto Federal Sul-Rio-grandense, toralles@pelotas.ifsul.edu.br

⁵ Professor colaborador, Rodrigo Nogueira Olendzki, Instituto Federal Sul-Rio-grandense rodrigoolendzki@gmail.com

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

Resumo

A região Sul do estado do Rio Grande do Sul destaca-se pela ocorrência do butiá (*Butia capitata*), uma fruta nativa que é pouco explorada por decompor-se rapidamente. As frutas maduras são habitats naturais para a presença de diversas espécies de leveduras, trazidas por insetos ou pelo vento.

A identificação da levedura *Saccharomyces cerevisiae* no butiá e no suco da fruta pode permitir a sua utilização posterior como um inóculo natural na fermentação do mosto da fruta para obtenção de bebidas típicas, sem a necessidade do uso de cepas comerciais de leveduras além de possibilitar uma alternativa para melhor utilização da fruta. Para haver um bom entendimento desse processo faz-se necessário inicialmente a caracterização da microbiota fúngica e bacteriana do butiá e do suco da fruta, através de análises microbiológicas de contagens de fungos e de bactérias mesófilas, com a enumeração de coliformes e identificação da presença de *S. cerevisiae*.

Foi possível a caracterização da microbiota fúngica e microbiana nas amostras de butiá analisadas. Pôde-se identificar presuntivamente a presença da levedura dos gêneros *Saccharomyces*, *Rhodotorula* e *Candida* além de bolores dos gêneros *Aspergillus*, *Alternaria*, *Rhizopus*, *Fusarium*, *Penicillium* e *Curvularia*. Não foi detectada a presença de coliformes, ao contrário de mesófilos, que se mostraram presentes nas amostras.

Os meios de cultura utilizados no isolamento de leveduras mostraram-se eficazes e, ainda que sem diferença significativa, os meios com maiores concentrações de leveduras foram o ágar batata dextrose – PDA e o ágar Sabouraud Dextrose – SDA.

Palavras-chave: Butiá; Microbiota fúngica; *Saccharomyces cerevisiae*.

MICROBIOLOGICAL CHARACTERIZATION OF BUTIÁ JUICE (BUTIÁ CAPITATA)

Abstract

The southern region of the state of Rio Grande do Sul stands out for the occurrence of butiá (*Butia capitata*), a native fruit that is little explored by rapidly decomposing. Mature fruits are natural habitats for the presence of several species of yeast, brought by insects or by the wind.

The identification of yeast *Saccharomyces cerevisiae* in the butiá and in the fruit juice can allow its later use as a natural inoculum in the fermentation of the fruit must to obtain typical beverages without the need of the use of commercial strains of yeasts besides allowing an alternative for better use of the fruit. In order to have a good understanding of this process, it is necessary initially to characterize the fungal and bacterial microbiota of the butiá and the fruit juice, through microbiological analyzes of counts of fungi and mesophilic bacteria, with the enumeration of coliforms and identification of the presence of *S. cerevisiae*.

It was possible to characterize the fungal and microbial microbiota in the butiá samples analyzed. The presence of yeasts of the genus *Saccharomyces*, *Rhodotorula* and *Candida* could be presumptively identified as well as molds of the genus *Aspergillus*, *Alternaria*, *Rhizopus*, *Fusarium*, *Penicillium* and *Curvularia*. The presence of coliforms was not detected, as opposed to mesophiles, which were present in the samples.

The culture media used in yeast isolation were effective and, although without significant difference, media with higher yeast concentrations were potato dextrose-PDA agar and Sabouraud Dextrose-SDA agar.

Key words: Butiá, Fungal microbiota, *Saccharomyces cerevisiae*.

1 INTRODUÇÃO

O aumento na demanda na produção e consumo de alimentos, em decorrência do aumento da população mundial, gerou uma necessidade de proporcionar não somente alimentos de fácil preparo e maior conservação como também diversificar, otimizar recursos e buscar o aproveitamento de novas matérias-primas, como aquelas com baixo valor, subutilizadas, além dos subprodutos do processo tecnológico de alimentos.⁽¹⁾ (Bernardi, 2013).

A oferta de produtos diferenciados, que acrescentem qualidade de vida, bem-estar e alternativas aos produtores locais justificam cada vez mais estudos na área agroindustrial, no qual a produção de frutas nativas ganha cada vez mais atenção. Além disso, o surgimento de produtos industrializados a partir destas agrega valor à matéria-prima, reduz perdas e possibilita ao pequeno produtor uma melhor condição de comercialização de sua produção.⁽¹⁾ (BERNARDI, 2013).

A região Sul do estado do Rio Grande do Sul destaca-se pela ocorrência do butiá, uma fruta nativa da família *Arecaceae* que, embora abundante, ainda é pouco explorada por decompor-se rapidamente. Zingler et al. (2009)⁽²⁾ sugeriram a fermentação alcoólica do suco de butiá, usando cepa comercial da levedura *Saccharomyces cerevisiae*, como um processo capaz de desenvolver a agroindústria regional, colaborando para o crescimento econômico da região.

Dentro dessa proposta, a fermentação de sucos de frutas variadas e características de cada região tem sido objeto de alguns estudos, como por

exemplo, a maçã (JOSHI; BHUTANI, 1991)⁽³⁾; JOSHI et al., 1991⁽⁴⁾, manga (REDDY; REDDY, 2005)⁽⁵⁾, laranja (CORAZZA; RODRIGUES; NOZAKI, 2001)⁽⁶⁾, siriguela e mangaba (MUNIZ et al., 2002)⁽⁷⁾, jabuticaba (ASQUIERI et al., 2004)⁽⁸⁾, cajá (DIAS; SCHAWN; LIMA, 2003)⁽⁹⁾ e kiwi (BORTOLINI; SANT'ANNA; TORRES, 2001)⁽¹⁰⁾. Contudo, normalmente são estudadas condições de processo utilizando cepas comerciais da levedura *Saccharomyces cerevisiae*, para obtenção de produtos próximos às características dos produtos comerciais já existentes.

As frutas maduras são habitats naturais para a presença de diversas espécies de leveduras, trazidas por insetos ou pelo vento. Isto ocorre devido ao seu pH e à concentração favorável de açúcar. Ferreira et al. (2016)⁽¹¹⁾ isolaram e identificaram quatro tipos de leveduras, entre elas a *Saccharomyces cerevisiae* na polpa de pêssegos maduros. Sendo assim, a identificação da levedura no butiá permitiria a sua utilização como inóculo natural para a fermentação do mosto da fruta, visando a obtenção de uma bebida com características de vinhos de frutas e proporcionando agregação de valor a uma matéria-prima abundante e com pouca comercialização na região. Além disso, permitiria obter um produto com características regionais e identificado com a cultura local, caracterizando-se como alternativa para baratear os custos de produção na obtenção de bebidas fermentadas.

Portanto, o objetivo deste trabalho é caracterizar a microbiota (fúngica e bacteriana) e identificar a presença da levedura *Saccharomyces cerevisiae* no butiá e no suco da fruta, essenciais para a qualidade do suco como meio para utilização da levedura.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A amostragem e as metodologias de análise microbiológica seguiram as recomendações de Downes & Ito (2001)⁽¹²⁾ e Silva et. al. (1997)⁽¹³⁾. Todas as amostras foram submetidas a análises quanto à presença de microrganismos indicadores (mesófilos e coliformes) e enumeração de bolores e leveduras.

A contagem de bactérias mesófilas foi feita através de semeadura tipo spread plate em Ágar Padrão de Contagem (Plate Count Agar, PCA) seguida de incubação em temperatura de 36±1°C.

Para a enumeração de coliformes totais e termotolerantes, utilizou-se a técnica do Número Mais Provável (NMP/g ou mL). A análise presuntiva de coliformes totais foi realizada em Caldo Lauril Sulfato de Sódio, com incubação por 48 horas a 37°C e a confirmação realizada em Caldo Lactosado Bile Verde Brilhante, posteriormente incubado por um período de 24 a 48 horas a 37°C. Os coliformes termotolerantes foram enumerados através de incubação em Caldo Escherichia Coli, a 44,5°C durante 24 horas.

A enumeração dos bolores e leveduras foi realizada através de inoculação pour plate em placas de Petri com Ágar Batata Dextrose (Potato Dextrose Agar, PDA), Ágar Extrato de Malte (EM), Ágar Sabouraud Dextrose (SDA) e Ágar Sabouraud Dextrose Cloranfenicol (SDA-CAF), acidificados com ácido tartárico a 10% e incubação a 25±1°C, por um período de cinco a sete dias.

Decorrido o tempo de incubação, uma colônia de cultura de levedura de cada um dos ágares e diluições foi transferida assepticamente para solução salina 85% e, posteriormente, inoculada pour plate para o respectivo ágar a fim de purificação das colônias de leveduras obtidas inicialmente, utilizando os mesmos métodos da incubação inicial.

Posteriormente, uma colônia de cultura de levedura recente foi assepticamente transferida para tubos contendo 2 (dois) mL de solução fisiológica esterilizada e ajustado a uma turbidez equivalente à escala 2 de McFarland. Uma gota desta suspensão foi adicionada ao meio basal do API 20C AUX e homogeneizado. Posteriormente, cada poço do painel de identificação foi preenchido com a suspensão e incubado em câmara úmida, previamente preparada e colocado em estufa a 30°C por até 72 horas, com leituras de 48 e 72 horas.

Os dados obtidos foram analisados estatisticamente através de uma análise de variância (ANOVA) seguida do teste de Tuckey, para comparações múltiplas de médias de modo a diferenciação da presença de microrganismos contaminantes e de leveduras para o suco (GOMES, 1978)⁽¹⁴⁾.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A contaminação microbiana (Tabela 1), particularmente por bolores e mesófilos nas amostras pode ser considerada elevada, indicando uma baixa qualidade higiênica da matéria-prima.

Tabela 1. Contagens de micro-organismos em butiá (*Butia capitata*)

ANÁLISES	RESULTADOS
Bolores	4,497x10 ⁴ UFC/g.
Mesófilos	5,4x10 ⁴ UFC/g
Coliformes	< 2,2 NMP/g

A maior parte da microbiota das frutas reside em sua parte externa, sendo o interior destas praticamente estéreis. Seus derivados são, em geral, alimentos ácidos e sua elevada acidez restringe a deterioração por micro-organismos, em especial organismos patogênicos. Segundo Matsumoto e Saeki (2010)⁽¹⁵⁾ a contagem de mesófilos é um parâmetro muito utilizado para se verificar a qualidade de diversos produtos, uma vez que o grupo de micro-organismos mesófilos inclui bactérias como estafilococos, coliformes, salmonela, entre outros. Contagens elevadas nesses indicadores representam falhas em etapas como colheita, transporte e processamento. Analisando polpa de açaí congelada, Cohen *et al.* (2011)⁽¹⁶⁾ relataram a presença de coliformes em valores superiores ou iguais a 1,1x10² NMP/g, enquanto Pereira *et al.* (2006)⁽¹⁷⁾, encontraram valores inferiores a 3 NMP/g em polpas de açaí, caju, goiaba, morango e graviola congeladas e comercializadas na cidade de Viçosa-MG. Santos *et al.* (2008)⁽¹⁸⁾ encontraram o valor máximo de bolores e leveduras de 8,7x10³ UFC/g ao analisar polpas de açaí congeladas e valor mínimo de 1,7 UFC/g; o valor máximo encontrado para polpa de acerola nas mesmas condições foi igual a 2,3x10⁴ UFC/g e o valor mínimo encontrado foi inferior a 10 UFC/g. Nas amostras analisadas, pode-se constatar a ausência de coliformes, estando em conformidade com a legislação em vigor para frutas in natura frescas, refrigeradas ou congeladas (BRASIL, 2001)⁽¹⁹⁾.

A presença de bolores pode incluir cepas de bolores termorresistentes, analisado por Gonçalves *et al.* (2014)⁽²⁰⁾ em frutos como cupuaçu, sendo associada a uma contaminação inicial das frutas destinadas à produção, principalmente, com fungos originários do solo (facilmente introduzidos na manipulação para o processamento da polpa). A microbiota que contamina os produtos de frutas é normalmente proveniente das condições da matéria-prima e da lavagem as quais

estas são submetidas, além das condições higiênico-sanitárias dos manipuladores, equipamentos e ambiente industrial em geral (SANTOS *et al.*, 2008)⁽¹⁸⁾.

Em muitas vezes, a qualidade da matéria prima é o que determina a qualidade dos seus derivados. Cohen *et al.* (2011)⁽¹⁶⁾ salientaram algumas etapas passíveis de contaminação dos frutos, como a deposição dos cachos no solo, após a colheita, o que faz com que os frutos entrem em contato direto com o mesmo, deixando-os susceptíveis a contaminação, e a debulha, que consiste na remoção dos frutos dos cachos, assim como o seu acondicionamento e posterior transporte para o local de armazenamento, que podem também ser fontes de contaminação microbiana.

Pompeu *et al.* (2009)⁽²¹⁾ verificaram que a refrigeração em polpa de açaí apresenta um efeito significativo na redução da carga microbiana, em especial nas contagens de bolores e leveduras, o que também pode afetar o crescimento de bolores e leveduras no butiá.

Dentre os bolores observados macroscopicamente (Figura 1), presentes nos isolados iniciais, a identificação presuntiva, baseada em características fenotípicas, indicou a presença de diversos gêneros contaminantes e deterioradores (Figuras 2 a 7). De acordo com Bernardi *et al.* (2005)⁽²²⁾ anemófilos frequentes no período de janeiro e fevereiro incluem gêneros como *Curvularia*, estando ainda presentes nestes meses outros gêneros, como *Alternaria*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Helminthosporium* e *Nigrospora*, todos de incidência mais comum no verão, estação de colheita do butiá.

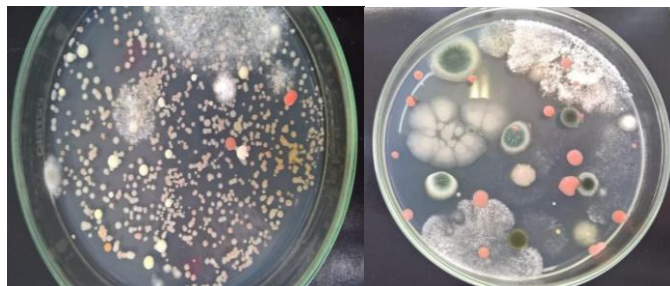


Figura 1. Imagens de cultivos iniciais de fungos isolados no butiá. Observam-se inúmeras colônias de fungos – maiores e com textura – e de leveduras, menores e circulares, com cores diversas. FONTE: os autores.

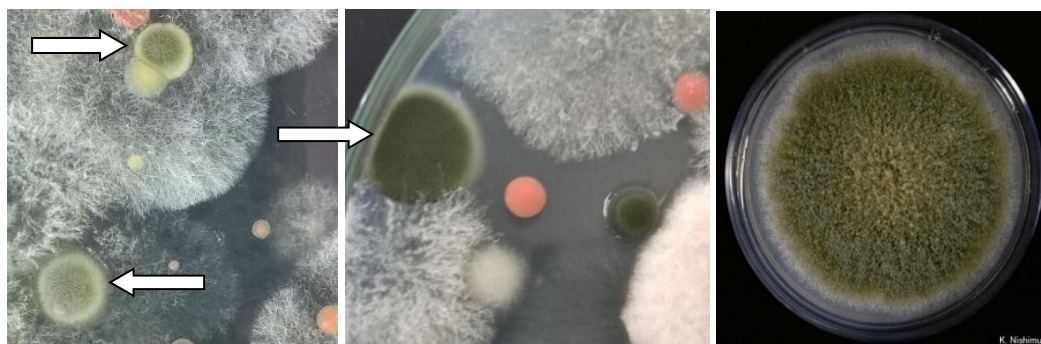


Figura 2. À esquerda e no centro: identificação presuntiva de colônias típicas de *Aspergillus* em isolado de butiá (*Butia capitata*). FONTE: Os autores. Na direita, cepa padrão de *Aspergillus*. FONTE: MEDICAL MYCOLOGY RESEARCH CENTER (MMRC).



Figura 3. À esquerda: Colônia típica de *Alternaria* em isolado de butiá (*Butia capitata*). FONTE: Os autores. No centro e a direita, cepas padrão de *Alternaria*. FONTE: Atlas micologia. Disponível em <https://atlasmicologia.blogspot.com/search/label/ALTERNATA>. Acesso em: 20/08/2018.

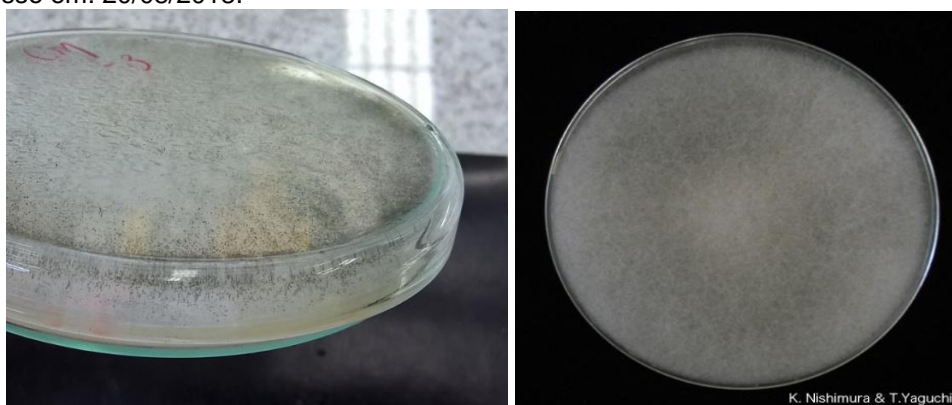


Figura 4. À esquerda: Colônia típica de *Rhizopus* em isolado de butiá (*Butia capitata*). FONTE: Os autores. Na direita, cepa padrão de *Rhizopus*. FONTE: MEDICAL MYCOLOGY RESEARCH CENTER (MMRC).



Figura 5. À esquerda e no centro: identificação presuntiva de colônia típica de *Fusarium* em isolado de butiá (*Butia capitata*). FONTE: Os autores. Na direita, cepa padrão de *Fusarium*. FONTE: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Colonias-de-Fusarium-graminearum-en-semilla-de-trigo-prueba-de-papel-secante_fig1_232056573. Acesso em: 20/08/2018.



Figura 6. À esquerda e no centro: identificação presuntiva de colônia típica de *Penicillium* em isolado de butiá (*Butia capitata*). FONTE: Os autores. Na direita, cepa padrão de *Penicillium*. FONTE:

http://aprendeonlinea.udea.edu.co/lms/moodle/pluginfile.php/144784/mod_page/content/1/fotos_derma-_ambientales/PC_-_C_007.jpg. Acesso em: 20/08/2018.

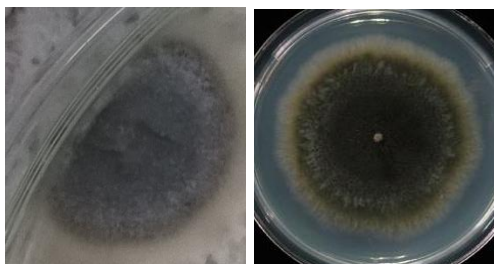


Figura 7. À esquerda identificação presuntiva de colônia típica de *Curvularia* em isolado de butiá (*Butia capitata*). FONTE: Os autores. Na direita, cepa padrão de *Curvularia*. FONTE:

http://aprendeonlinea.udea.edu.co/lms/moodle/pluginfile.php/144784/mod_page/content/1/fotos_derma-_ambientales/PC_-_C_007.jpg. Acesso em: 20/08/2018.

Nas amostras analisadas, pode-se constatar a ausência de coliformes, estando em conformidade com a legislação em vigor para polpas de frutas congeladas. A presença de mesófilos, contudo indicou uma concentração média de $5,4 \times 10^4$ UFC/g. Segundo Matsumoto e Saeki (2010)⁽¹⁵⁾ a contagem de mesófilos é um parâmetro muito utilizado para se verificar a qualidade de diversos produtos, uma vez que o grupo de micro-organismos mesófilos inclui bactérias como estafilococos, coliformes, salmonela entre outros. Contagens elevadas indicam más condições de processamento, colheita e transporte. Analisando polpas de açaí congeladas, Cohen *et al.* (2011)⁽¹⁶⁾ relatam a presença de coliformes em valores superiores ou iguais a $1,1 \times 10^2$ NMP/g, enquanto Pereira *et al.* (2006)⁽¹⁷⁾, encontraram valores inferiores a 3 NMP/g em polpas de açaí, caju, goiaba, morango e graviola congeladas e comercializadas na cidade de Viçosa-MG.

Ao analisar as concentrações de micro-organismos nos meios de cultura utilizados na caracterização da microbiota do suco de butiá, particularmente no crescimento de leveduras, pode-se constatar que não houve diferença entre os meios utilizados, ou seja, qualquer um dos meios empregados nas condições do experimento comprovou ser adequado para o isolamento de leveduras no suco de butiá (Fig. 08).

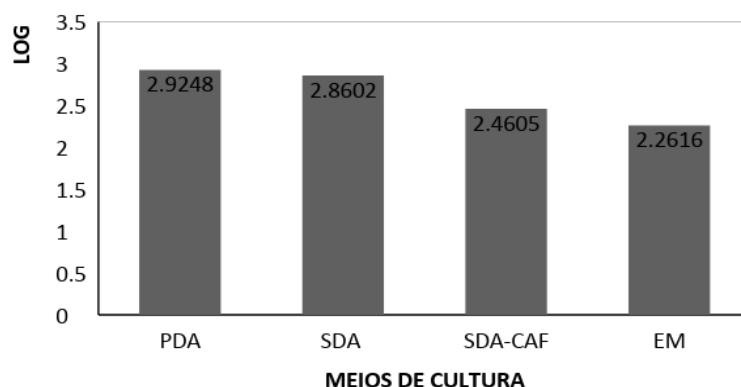


Figura 8. Comparação entre as concentrações de leveduras isoladas de butiá em diferentes meios de cultivo. PDA: ágar batata dextrose; SDA: ágar sabouraud dextrose; SDA-CAF: ágar sabouraud dextrose com cloranfenicol; EM: ágar extrato de malte.

Na prática laboratorial, o meio de cultura e o tempo de inoculação mais indicados são aqueles que recuperam o maior número de unidades formadoras de colônias (UFC) (LAZARETTI, 2000)⁽²³⁾. De modo similar e utilizando meios como Ágar Sabouraud Dextrose (SDA), Ágar Batata Dextrose (PDA) e Ágar Yeast and Mould (AYM), Martins (2013)⁽²⁴⁾ não constatou diferenças significativas na recuperação e na contagem de colônias típicas de leveduras do gênero *Saccharomyces*, corroborando com os resultados obtidos no presente projeto.

Contudo, ao comparar as médias de crescimento de leveduras nos meios de cultivo percebe-se que o Ágar Sabouraud Dextrose (SDA) e o Ágar Batata Dextrose (PDA) foram os que atingiram as maiores concentrações celulares, ainda que não tenham diferido em relação aos meios Sabouraud Dextrose Cloranfenicol (SDA-CAF) e Extrato de Malte (EM).

Dentre as leveduras isoladas no butiá, identificou-se presuntivamente e também no meio do API 20C AUX (LACAZ *et al.*, 2002)⁽²⁵⁾, os gêneros de leveduras *Saccharomyces* (Fig. 09), confirmado ainda através da prova da urease, além de contaminantes como *Rhodotorula* (Fig. 10), *Trichosporon* e *Candida*. Ferreira *et al.* (2016)⁽¹¹⁾ também identificou cepas nativas dessas leveduras em pêssegos e resíduos de seu processamento.

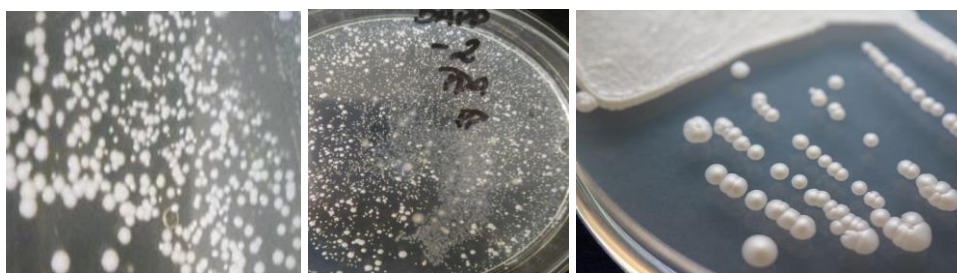


Figura 9. À esquerda e ao centro: identificação presuntiva de colônias típicas de *Saccharomyces* isoladas de butiá em meio ágar PDA. FONTE: Os autores. À direita: *Saccharomyces cerevisiae* em meio ágar PDA. FONTE: *Japan Collection of Microorganisms*.



Figura 10. À esquerda: identificação presuntiva de colônias típicas de *Rhodotorula* em butiá, utilizando ágar PDA. FONTE: Os autores. Abaixo, colônias de *Rhodotorula* FONTE: *Japan Collection of Microorganisms*.

4 CONCLUSÃO

Foi caracterizada a microbiota fúngica e bacteriana em amostras de butiá (*Butia capitata*) e no suco da fruta. Identificou-se presuntivamente a presença da levedura dos gêneros *Saccharomyces*, *Rhodotorula* e *Candida* além de bolores dos gêneros *Aspergillus*, *Alternaria*, *Rhizopus*, *Fusarium*, *Penicillium* e *Curvularia*. Embora com ausência de coliformes, a concentração de mesófilos de $5,4 \times 10^4$

UFC/g indica que a matéria-prima – a fruta, apresenta contaminação considerada elevada de bactérias.

Os meios de cultura utilizados no isolamento de leveduras mostraram-se eficazes e, ainda que sem diferença significativa, os meios com maiores concentrações de leveduras foram o ágar batata dextrose – PDA e o ágar Sabouraud Dextrose – SDA.

Agradecimentos

À Coordenadoria do Curso Técnico em Química do Instituto Federal Sul-riograndense, pela disponibilização dos Laboratórios didático e de pesquisa em Análises Microbiológicas (LAMI), ao IFSul pelo financiamento da pesquisa, e ao IFSul e CNPq, pelas bolsas de estudos disponibilizadas através do edital PROPESP 03/2017.

REFERÊNCIAS

1. BERNARDI, G. Desenvolvimento e caracterização físico-química e sensorial de fermentados de butiá (*Butia odorata*). 2013. 85p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos. Universidade Federal de Santa Maria-UFSM, Santa Maria, RS, 2013.
2. ZINGLER, F. M.; CARLESSO, F.; RIBEIRO, G. R.; TERRA, L. M. Processo de fermentação alcoólica e caracterização do fermentado de butiá (*Butia eriospatha* Mart. Ex Drude). VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, Uberlândia - MG, 2009.
3. JOSHI, V. K.; BHUTANI, V. P. The influence of enzymatic clarification in fermentation behavior and qualities of apple wine. *Science des Aliments*, v. n. 3, p. 491-498, 1991.
4. JOSHI, V. K.; SANDHU, D. K.; ATTRI, B. L.; WALLA, R. K. Cider preparation from apple juice concentrate and its consumer acceptability. *Indian Journal of Horticulture*, v. 48, p. 321-327, 1991.
5. REDDY, L. V. A.; REDDY, O. V. S. Production and characterization of wine from mango fruit (*Mangifera indica* L). *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, Oxford, v. 21, n. 8-9, p. 1345-1350, Dec. 2005.
6. CORAZZA, M. L.; RODRIGUES, D. G.; NOZAKI, J. Preparação e Caracterização do vinho de laranja. *Química Nova*, v.24, n. 4, p. 449-452, ago. 2001.
7. MUNIZ, C. R.; BORGES, M. F.; ABREU, F. A. P.; NASSU, R. T.; FREITAS, C. A. S. Bebidas fermentadas a partir de frutos tropicais. *Boletim do CEPPA*, v. 20, n. 2, p. 309-322, jul./dez. 2002.

8. ASQUIERI, E.R.; CANDIDO, M.A.; DAMIANI, C.; ASSIS, E.M. Fabricación de vino blanco y tinto de jabuticaba (Mirciaria jaboticaba Berg) utilizando la pulpa y la cáscara respectivamente. *Alimentaria*, v. 355, n. 1, p. 97-109, 2004.
9. DIAS, D. R.; SCHAWN, R. F.; LIMA, L. C. O. Metodologia para elaboração de fermentado de cajá (*Spondias mombin* L.). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 23 n. 3, p. 342, set./dez. 2003.
10. BORTOLINI, F.; SANT'ANNA, E.S.; TORRES, R.C. Comportamento das fermentações alcoólicas e acéticas de sucos de kiwi (*Actinidia deliciosa*); composição dos mostos e métodos de fermentação acética. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 21, n. 2, p. 236-243, maio/ago. 2001.
11. FERREIRA, M.V., AVILA, T.L., KUHN, C.R., ROMBALDI, C.V., TORALLES, R.P. Identifying yeast isolated from spoiled peach puree and assessment of its batch culture for invertase production. *Food Sci. Technol*, Campinas, 36(4): 701-708, Oct.-Dec. 2016.
12. DOWNES, F.P.; ITO, K. **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. 4.ed. Washington: American Public Health Association, 2001 . 676p.
13. SILVA, Neusely da. Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos. Valéria Christina Amstalden - São Paulo : Livraria Varela, 1997.
14. GOMES, F.P. Curso de Estatística Experimental. Buenos Aires: Editorial Hemisferio Sur; 1978.
15. MATSUMOTO, L.S.; SAEKI, E. Contagem de mesófilos e psicrótrófos em amostras de leite pasteurizado e UHT. **Rev. Inst. Latic. "Cândido Tostes"**, Nov/Dez, nº 377, 65: 29-35, 2010.
16. COHEN, K.O.; MATTA, V.M.; FURTADO, A.A.L.; MEDEIROS, N.L.; CHISTÉ, R.C.;
17. Comparação entre os meios de cultura para contagem de fungos no controle microbiológico de erva-mate. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 18, n.2, p. 163-170, 2000.
18. PEREIRA, J.M.A.T.K.; OLIVEIRA, K.A.M.; SOARES, N.F.F.; GONÇALVES, M.P.J.C.; PINTO, C.L.O.; FONTES, E.A.F.; **AVALIAÇÃO DA QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA, MICROBIOLÓGICA E MICROSCÓPICA DE POLPAS DE FRUTAS CONGELADAS COMERCIALIZADAS NA CIDADE DE VIÇOSA-MG**. *Alim. Nutr.*, Araraquara v.17, n.4, p.437-442, out./dez. 2006.
19. SANTOS, C.A.A.; COELHO, A.F.S.; CARREIRO, S.C. Avaliação microbiológica de polpas de frutas congeladas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, V. 28, N.4, 2008, p. 913-915. Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, Brasil.

20. BRASIL. Resolução RDC nº12, de 2 de janeiro de 2001. **Regulamento técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos**. Agência Nacional de Vigilância Sanitária, DOU de 10 de janeiro de 2001. Brasil, 2001.
21. GONÇALVES, M.V.V.A. *et al.* Incidência de fungos termorresistentes e propriedades microbiológicas da polpa de cupuaçu congelada (*Theobroma grandiflorum* Schum). **Perspectivas online: biol. & saúde**, Campos dos Goytacazes, v. 14 (4), p. 41-49, 2014.
22. POMPEU, D. R.; BARATA, V. C.; ROGEZ, H. **Impacto da refrigeração sobre variáveis de qualidade dos frutos do açaizeiro (Euterpe Oleracea)**. **Alim. Nutr.**, v. 20, n. 1, p. 141-148, 2009.
23. BERNARDI, E.; NASCIMENTO, J.S. do. Fungos anemófilos na praia do laranjal. **Arq. Inst. Biol.**, São Paulo, v. 72 (1), p. 93-97, jan./mar. 2005.
24. Medical Mycology Research Center (MMRC). **Fungus and Actinomycetes Gallery**. <<http://www.pf.chiba-u.ac.jp/english/gallery.html>>. Chiba University, Japan.
25. LAZARETTI, K.L.S.; BEUX, M.R.; PIMENTEL, I.C.; TALAMINI, A.; GABARDO, J.
26. Comparação entre os meios de cultura para contagem de fungos no controle microbiológico de erva-mate. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 18, n.2, p. 163-170, 2000.
27. MARTINS, S.C.S.; FIÚZA, L.M.C.G.; MARTINS, C.M. **COMPARAÇÃO DE DIFERENTES MEIOS DE CULTIVO PARA A AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE CELULAR DE FERMENTOS BIOLÓGICOS**. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, N.16; p. 2478 -2486. 2013.
28. LACAZ, C. S.; PORTO, E.; MARTINS, J. E. C.; VASCCARI-HEINS, E. M.; MELO, N. T. **Tratado de Micologia Médica**. 2002. 9ª ed. São Paulo: SARVIER. 1104p.
29. Japan Collection of Microorganisms. Disponível em: <<http://jcm.brc.riken.jp/en/>>. Acesso em 22 de agosto de 2018.
30. **Avaliação microbiológica de polpas de frutas congeladas**. Ciência e Tecnologia de Alimentos, vol. 28, núm. 4, outubro-diciembre, 2008, pp. 913-915. Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, Brasil.
31. BORGES, G. da S.; SGANZERLA, M.; ZAMBIAZI, R. C. Caracterização química de frutos de butiá. IN: CONGRESSO DE CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS DE CASCAVEL E SIMPÓSIO EM CIÊNCIA E

TECNOLOGIA DE ALIMENTOS DO MERCOSUL, 2., 2006, Cascavel. **Anais do...** Cascavel: Unioeste, 2006.

32. **CONTAMINANTES MICROBIOLÓGICOS EM POLPAS DE AÇAÍ COMERCIALIZADAS NA CIDADE DE BELÉM-PA.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campus Ponta Grossa, Paraná, Brasil. 1981-3686/ v. 05, n. 02: p. 524-530, 2011.
33. do Amaral SANTOS, Cristina Auler; Santos COELHO, Ana Flavia; CARREIRO, Solange GONÇALVES, M.V.V.A. *et al.* Incidência de fungos termorresistentes e propriedades microbiológicas da polpa de cupuaçu congelada (*Theobroma grandiflorum Schum*). **Perspectivas online: biol. & saúde**, Campos dos Goytacazes, v. 14 (4), p. 41-49, 2014.
34. PINHEIRO, A.M.; FERNANDES, A.G.; FAI, A.E.C.; PRADO, G.M.; SOUSA, P.H.M.; MAIA, G.A. **AVALIAÇÃO QUÍMICA, FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DE SUCOS DE FRUTAS INTEGRAIS: ABACAXI, CAJU E MARACUJÁ.** Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, 26(1): 98-103, jan.-mar. 2006.
35. SCHWARTZ, Elisane. **Produção, fenologia e qualidade dos frutos de *Butia capitata* em populações de Santa Vitória do Palmar.** Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências (área do conhecimento: Fruticultura de Clima Temperado). Pelotas, 2008.

COMPARAÇÃO DO DESGASTE DO PAR TRIBOLÓGICO PA6 E POM COM AL 6063 T5

Antonioli, M.P.¹

Malfatti, C.F.²

¹ Mestrando, Anderson Antonioli, LAPEC/PPGE3M - UFRGS, anderson.antonioli@yahoo.com.br

² Doutor, Célia de Fraga Malfatti, LAPEC/PPGE3M – UFRGS, celia.malfatti@ufrgs.br

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

Resumo

As ligas de POM e Nylon são utilizadas em inúmeros segmentos e aplicações, destacam-se pelas propriedades mecânicas e resistência a intempéries. A crescente evolução da indústria vem explorando cada vez mais os polímeros e desenvolvendo ligas que possuem a adição de vários componentes como a fibra de vidro, o que promove resistência mecânica e dureza. O comportamento do par tribológico AL 6063 com POM e Nylon é de grande interesse para alguns segmentos. Com o objetivo de analisar o desgaste do par tribológico foram injetadas esferas com Ø 5mm para o teste de Bone Plate em contato com placas de AL 6063 em um tribômetro, no teste foram utilizadas cargas de 1N, 3N, 5N e 8N. A caracterização das amostras foi feita por meio de um interferômetro e de microscópio óptico. De forma inicial é possível observar o desgaste superior das amostras de POM em comparação com Nylon.

Palavras-chave: POM, Nylon, Liga AL 6063, Desgaste Bone Plate

Abstract

POM and Nylon alloys are used in some segments and applications, stand out by the mechanical properties and aggressive atmosphere resistance. The increasing evolution of the industry is increasingly exploring the polymers and developing alloys that have the addition of several components such as fiberglass, which promotes mechanical strength and hardness. The behavior of the tribological pair AL 6063 with POM and Nylon is of great interest for some segments. In order to analyze the wear of the tribological pair, 5 mm spheres were injected for the Bone Plate test in contact with plates of AL 6063 in a tribometer, in the test, loads of 1N, 3N, 5N and 8N were used in the test. The characterization of the samples was made by means of an interferometer and an optical microscope. In an initial way it is possible to observe the superior wear of the POM samples compared to Nylon.

Key words: POM, Nylon, Liga AL 6063, Wear Bone Plate

1. INTRODUÇÃO

O comportamento de superfícies de contato é serve de base para o avanço de atividades ligadas aos mais variados segmentos, podendo variar da indústria automobilística, petróleo e gás até equipamentos de higiene como escovas de dente.

A interação de um par tribológico é uma ciência relativamente jovem, mas exerce fascínio desde os primórdios da humanidade [1]. Teve um grande incremento a partir de 1950 [2], o estudo da tribologia e as suas interações recebe a interferência de uma significativa quantidade de variáveis o que exige a compreensão simultânea de fenômenos físicos para que uma relação possa ser construída.

A evolução dos materiais e processos de fabricação fazem com que nas últimas décadas o uso de materiais poliméricos venha ganhando cada vez mais espaço entre os projetistas, isto se deve a versatilidade de geometria aliada a evolução da resistência dos materiais e da capacidade de resistir a intempéries.

O comportamento do par tribológico AL e polímero pode ser utilizado por vários segmentos da indústria. A comparação do desgaste das ligas PA6 (Nylon) com 20% de fibra de vidro e POM obtidas pelo processo como de injeção por moldagem sob pressão e em contato com uma superfície plana de AL 6063 T5 obtida pelo processo de extrusão, visa compreender o comportamento de materiais com composições e características distintas. O PA6 é um material amplamente utilizado em vários segmentos da indústria por ter propriedades mecânica elevadas, principalmente com a adição de fibra de vidro, o que aumenta diretamente a resistência a tração e ao impacto, por sua vez o POM também possui propriedades mecânicas elevadas com uma característica de auto lubrificação o que o torna atrativo a vários segmentos da indústria.

1.1 Processo de Extrusão

Extrusão é um processo de transformação termomecânica no qual um tarugo de metal é reduzido em sua seção transversal quando forçado a fluir através do orifício de uma matriz (ferramenta), sob o efeito de altas pressões e temperaturas. É similar a uma pasta de dente sendo expelida para fora de seu tubo. [3]

Em vista das grandes forças envolvidas, a maior parte do metal é extrudada a quente, isto é, quando a resistência à deformação é baixa e a temperatura é superior à de recristalização do metal.

O processo de extrusão é utilizado comercialmente desde o final do século XIX. O primeiro grande incremento de utilização de perfis extrudados ocorreu durante a Segunda Guerra Mundial, quando perfis extrudados de alumínio foram produzidos em grande quantidade para utilização em componentes aeronáuticos.

A introdução de ligas de alumínio intermediária, tratáveis termicamente na própria presa de extrusão e de boa extrudabilidade, permitiu uma rápida expansão dessa indústria no pós-guerra.

Prensas hidráulicas horizontais com capacidade de força entre 1200-2400t são usadas para produzir a maior parte dos extrudados de alumínio utilizados no mundo. Prensas com capacidade de até 15000t são utilizadas para empurrar perfis de grande dimensão ou complexidade geométrica, bem como, perfis produzidos com alta resistência mecânica. A figura 1 apresenta uma representação do equipamento de extrusão.

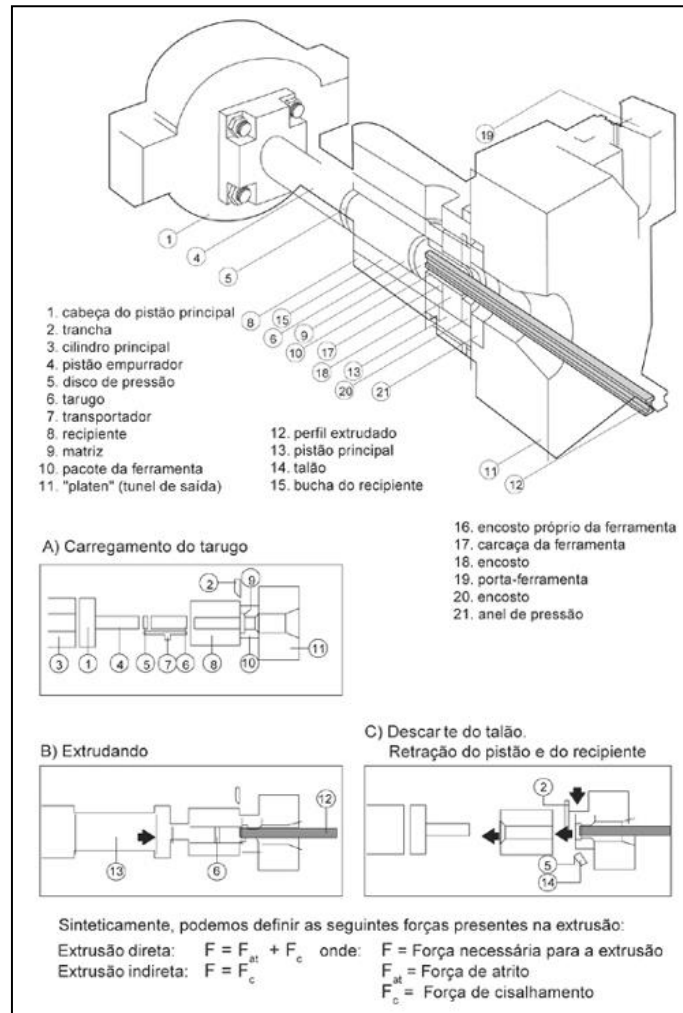


Figura 1. Representação Extrusora

1.2 Liga AL 6063 T5

De acordo com ligas de tempera e extrusão ALCOA [4], a liga 6063 é uma das ligas mais populares da classe 60XX, com boas propriedades de extrusão e qualidade superficial. A liga 6063 é utilizada em aplicações de arquitetura e trocadores de calor. A liga 6063 possui resistência a corrosão e corrosão por tensão. A liga 6063 utilizada neste trabalho possui composição química de acordo com a figura 2 e dureza específica T5 de acordo com a figura 3.

Análise Química da Liga 6063		Temperatura Líquida: 655°C				Temperatura Sólida: 615°C				Densidade: 2,69 g/cm ³				
Porcentagem em Peso	Elementos													
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Ga	V	Outros Cada	Outros Total	Alumínio
Mínimo	0.20	--	--	0.10	0.45	--	--	--	--	--	--	--	--	Restante
Máximo	0.60	0.35	0.10	0.10	0.90	0.10	--	0.10	0.10	--	--	0.05	0.15	Restante

Coeficiente Médio de Expansão Térmica (20 a 100°C) = 23,4 µm/m.K

Figura 2. Composição química liga AL 6063

Liga 6063: Limites de Propriedades Mecânicas						
Têmpera	Seção Específica ou Espessura de Parede ² (milímetros)	Resistência a Tração (MPa)				Alongamento ³ Porcentagem Min. em 50 mm ou 4D ⁴
		Limite de Resistência a Tensão		Limite de Escoamento		
		Min.	Máx.	Min.	Máx.	
Têmpera padrão¹						
O	Todas	--	130	--	--	16
T4	Até 12.50	130	--	70	--	12
	12.50 – 25.00	125	--	60	--	10
T5	Até 12.50	175	--	130	--	6
	12.50 – 25.00	160	--	110	--	5
T6	Até 3.20	215	--	170	--	6
	3.20 – 25.00	195	--	160	--	6

Figura 3. Composição química liga AL 6063

2. PROCESSO DE INJEÇÃO

De acordo com [5], em 1872 foi patenteado o que seria o processo de moldagem por injeção, idealizada pelos irmãos Hyatt, em 1878 John Wesley Hyatt criou um dos primeiros equipamentos para injeção, figura 4. O equipamento é formado por um cilindro de aquecimento com câmaras aquecida a vapor, um bico para descarregar o material de um embolo acionado hidráulicamente para pressionar o material fundido. Ao lado do equipamento constava uma prensa hidráulica onde era despejado o material fundido com o molde fechado, era preciso devido a instabilidade do material de trabalho que é o nitrato de celulose, este desenvolvido pelo próprio Hyatt.

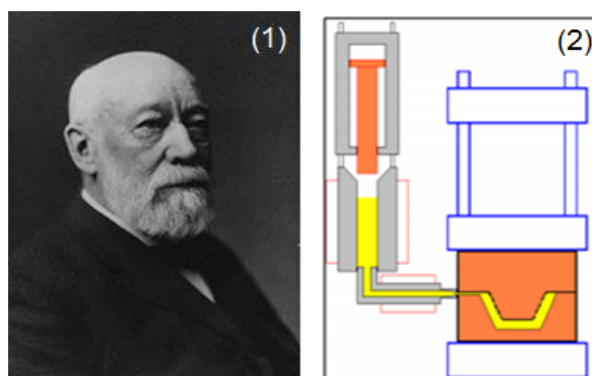


Figura 4. Representação do modelo da 1ª Injetora de plástico

As máquinas injetoras podem ser hidráulicas, elétricas ou híbridas, ter fechamento do molde na horizontal ou na vertical, podendo ser hidráulico, hidráulico-mecânico ou elétrico-mecânico, ter pistão ou rosca para efetuar a injeção do material

plastificado e ter um a vários cilindros de injeção, estas são conhecidas como máquinas especiais bi-componentes ou multicomponentes.

As máquinas injetoras possuem três modos de operações:

> Automático - Todas as etapas do ciclo de moldagem são realizadas automaticamente, havendo o início de um novo ciclo sem a necessidade de comando do operador. O equipamento só paralisa a operação se houver uma intervenção ou condição de alarme no processo, figura 5.

> Semiautomático - Neste modo a máquina realiza toda etapa de um ciclo de moldagem e somente inicia a repetição do ciclo com o comando do operador.

> Manual - Este é o modo de operação em que cada função e tempo de cada função da máquina são controlados manualmente pelo operador.

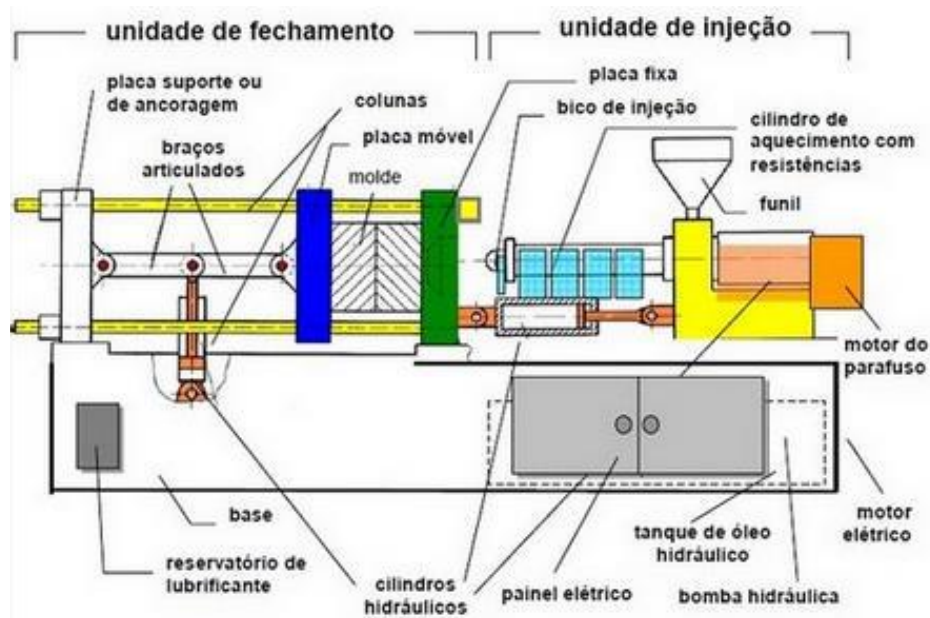


Figura 5. Representação de uma injetora de plástico moderna

2.1 Polímeros

2.1.1 PA 6 (Nylon)

De acordo com [6] a poliamida se destaca como um dos principais plásticos de engenharia por suas propriedades mecânicas, resistência ao tempo, baixo coeficiente de atrito e boa resistência ao impacto.

A poliamida vem se destacando como uma opção para substituir metais, atualmente podemos citar os coletores de admissão de gases e a tampa de válvulas para motores de veículos. A aplicação da poliamida é amplamente diversificada sendo utilizada na indústria eletrônica, construção, móveis, engenharia.

De acordo com [6], o desenvolvimento da poliamida ocorreu em meados de 1935 por W.H Carothers nos EUA, que sintetizaram a primeira poliamida náilon, a partir da policondensação de hexametileno diamina com ácido adípico.

Tipos de poliamidas

As resinas de poliamidas podem ser divididas em dois grupos distintos e caracterizadas pela matéria que foram originadas. As poliamidas 6.6, 6.10 e etc. encontram-se polimerizadas a partir de uma Diamina e de um diácido. As poliamidas 6, 11, 12 etc. são polimerizadas a partir de um aminoácido.

As principais propriedades de interesse das poliamidas comerciais são listadas na tabela 1.

Propriedades	PA 6	PA 11	PA 12	PA 6.6	PA 6.10	PA 6.12
Temperatura de fusão (°C)	215	185	177	252	215	210
Densidade (g/cm ³)	1,14	1,04	1,02	1,15	1,08	1,07
Resistência a tração	83	55	52	83	62	59
Módulo de flexão	2758	1241	1172	2826	2413	1999

Tabela 1. Informações técnicas POM

Característica Termica das poliamidas

Uma das suas principais características térmicas esta na codição que a Poliamida até o seu ponto de fusão permanece sólida, a cima deste ponto ele se torna líquido. De forma geral as poliamidas podem trabalhar em temperaturas relativamente altas.

De forma geral a poliamida esta presente em uma gama ampla de aplicação, que cresce a cada dia. Pode-se observar a utilização da poliamida sendo utilizada em equipamentos elétricos, isolamentos, compostos anti-chama, conectores e até aplicações como engrenagens, mancais e componentes que recebem uma demanda elevada de carga.

2.1.2 POM

Poliacetal (POM), o histórico do poliacetal começa com Butlerov em 1859 quanto sintetizou o formaldeido, porém só no final de 1950 se obteve polímeros de formaldeído com a estabilidade e tenacidade.

De acordo com [6], poliacetais ou polioximetilenos (POM), são polímeros derivados do formaldeído ou do trioxano. Os poliacetais possuem propriedades características dos polímeros semicristalinos de alta massa molar.

De acordo com [6], o poliacetal homopolímero tornou-se comercialvel pela Dupont em 1960, e difere do copolímero por ser mais rígido, mais resistente a tração, ao impacto e a abrasão, o copolímero tem desempenho satisfatório em soluções alcalinas.

- Homopolímero:

O Poliacetal homopolímero pode ser obtido através de polimerização do formaldeido e adição de grupos terminais acetato. O formaldeido pode ser polimerizado seguindoos diversos caminhos esquematizados, de acordo com a tabela 2.

- Copolímero:

De acordo com [6], a empresa Celanese desenvolveu outra forma de obter poliacetal, rompendo-se a cadeia polimérica adicionando outro monômero, geralmente um éter cíclico dos tipos a seguir.

- Tipos Comerciais:

Os tipos de poliacetal são normalmente aditivados com antioxidantes do tipo fenol-alcano, e compostos nitrogenados ou sais básicos que servem para neutralizar traços de ácidos minerais que atacam a união acetálica.

- Propriedades Termicas:

O Poliacetal possui uma elevada temperatura de fusão, ficando na ordem de 85°C para uso contínuo. A faixa de utilização e o tempo de exposição são fatores que tem significativa influência no comportamento do material. A sua composição também possui interferência imediata.

- Características:

O poliacetal tem propriedades similares as do náilon. Possuem elevada resistencia a fadiga, fluência, rigidez e resistencia a água, destacan-se por uma grande resistencia a solventes, éteres, óleos, graxas e gasolina.

Propriedades	Método	Unidade	Acetal Homo	Acetal Copo
Reist. A tração	ASTM D638	MPa	70	60
Alongamento na Ruptura	ASTM D638	%	40	70
Módulo de flexão	ASTM D790	GPa	2,8	2,6
Resit. Impacto Izod com entalhe	ASTM D256	J/m	75	65
Dureza Rockwell	ASTM D785	R	120	115
Densidade	ASTM D792	g/cm ³	1,42	1,41

Tabela 2. Informações técnicas Nylon

O POM utilizado nos testes é da classe Homopolímero.

2.2 Materiais e Métodos

As esferas de PA6 e POM foram fabricadas com Ø 5mm por meio da injeção em um molde de condições reais e produção, figura 6, utilizando-se de parâmetros de fabricação que evitassem com quem existissem rechupes ou deformações na geometria da peça. O perfil de AL 6063 T5 anodizado foi cortado em quadrados de 30x30x1mm figura 7.



Figura 6. Esfera Injetada

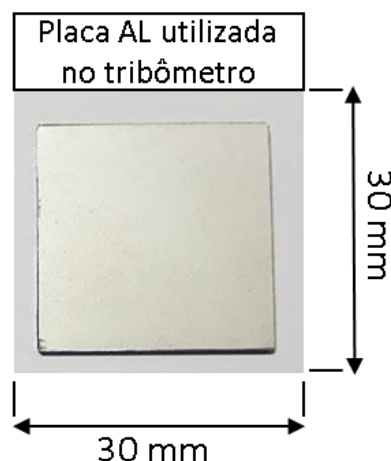


Figura 7. Placa AL 6063 T5

2.3 Ensaio Bone plate para determinação do COF em tribômetro

Para o ensaio e determinação do COF foi utilizado o tribômetro marca CETR, o ensaio constitui-se em montar a esfera no adaptador do equipamento, e o corpo em AL na base móvel e inferior do equipamento.

O teste Bone Plate constitui-se do deslizamento da esfera sob a superfície, dentro de uma determinada velocidade, distância e carga de aplicação. Para este trabalho foram consideradas as cargas verticais de 1N, 3N, 5N e 8N, com uma trilha de deslizamento de 20mm com tempo de 30min, para cada carga foram submetidas 3 amostras.

2.4 Caracterização das amostras

Após o ensaio de COF no tribômetro as esferas foram submetidas a avaliação da rugosidade por interferometria óptica e avaliação superficial por meio de um microscópio óptico. O perfil de AL também foi analisado por meio de interferometria óptica para avaliar a rugosidade da placa de AL.

2.4.1 Interferometria Óptica

A rugosidade micrométrica foi determinada utilizando um perfilômetro GT-K. A escala micrométrica da rugosidade da superfície foi determinada pela medição da Sa (Rugosidade Média avaliada sobre a superfície 3D) e a Sz (diferença média entre os cinco picos mais altos e cinco vales mais baixos sobre a superfície 3D).

2.4.2 Microscopia Óptica

A caracterização morfológica das amostras foi auxiliada por microscopia óptica, após o teste de COF no tribômetro. As análises foram realizadas por meio de um microscópio óptico da marca OLYMPUS CX31.

Os testes foram realizados com um aparato desenvolvido pelo Laboratório de Pesquisa em Corrosão (LAPEC) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após os testes Bone Plate para determinação do COF no tribômetro foi montado um quadro geral de resultados divididos em COF, caracterização por interferometria das esferas e das placas de AL para uma análise detalhada. Os resultados apresentados no quadro são referentes as cargas de 1N e 8N.

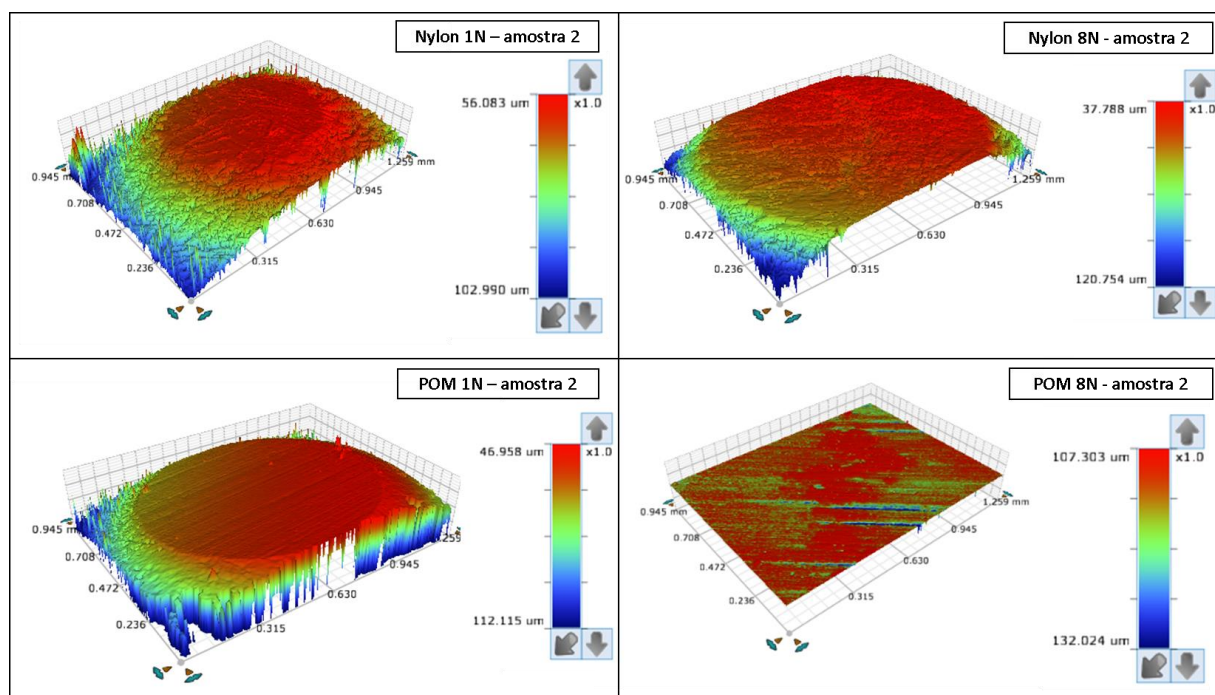


Figura 8. Imagem comparativa de Interferometria esferas 1N e 8N, POM e Nylon

Em primeiro momento pode-se visualizar com nitidez na figura 8 a diferença entre a morfologia da superfície dos materiais, sendo o Nylon com a adição de 20% de vidro apresentando uma característica de maior número de irregularidades e mais grosseira. O POM por sua vez possui um aspecto menos grosseiro e relativamente mais uniforme no contorno da esfera. Estas características são confirmadas pela análise a olho nu de componentes fabricados por estes materiais.

A análise das placas de AL 6063 T5 após o ensaio de Bone Plate representa o desgaste as esferas sobre as placas representado por amostra e por carga de aplicação, figura 9.

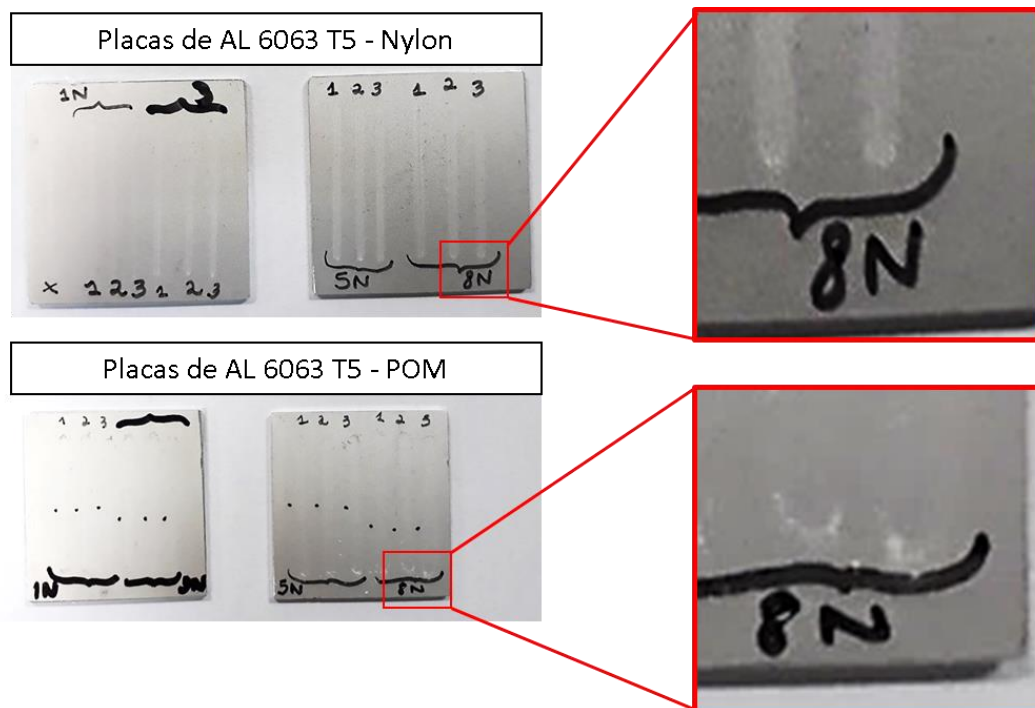


Figura 9. Placas após o teste Bone Plate no tribômetro

A imagem das placas após o teste apresenta a trilha percorrida pela esfera, a parte que está em destaque com aumento representa a trilha da amostra 2 e 3 com carga de 8N para Nylon e POM. É possível ver na imagem que a trilha da esfera de Nylon possui um destaque maior e possui contorno mais definido que a de POM. Este aspecto precisa ser analisado com algumas ressalvas, visto que o POM por ter um módulo de elasticidade e dureza menor deveria se desgastar ou ter uma trilha de desgaste similar ao Nylon, porém, o POM possui uma propriedade que faz com que a sua aplicação seja de interesse para várias aplicações que é a auto lubrificação, isto pode ter reduzido o desgaste e a perda de massa da esfera na superfície da placa.

O COF das amostras foi determinado por meio do software do tribômetro. Para analisar o COF foi montado um quadro comparativo entre as cargas de 1N e 8N das amostras de Nylon e POM.

Analisando-se o gráfico pode-se perceber um comportamento distinto entre os materiais, a amostra de Nylon apresentou uma oscilação do COF, de acordo com [7], o desgaste por adesão normalmente evolui para o desgaste por abrasão, ainda apresenta que a taxa real de desgaste tende levemente a diminuir devido ao material que se desprende da amostra poder se alojar entre as duas superfícies de contato.

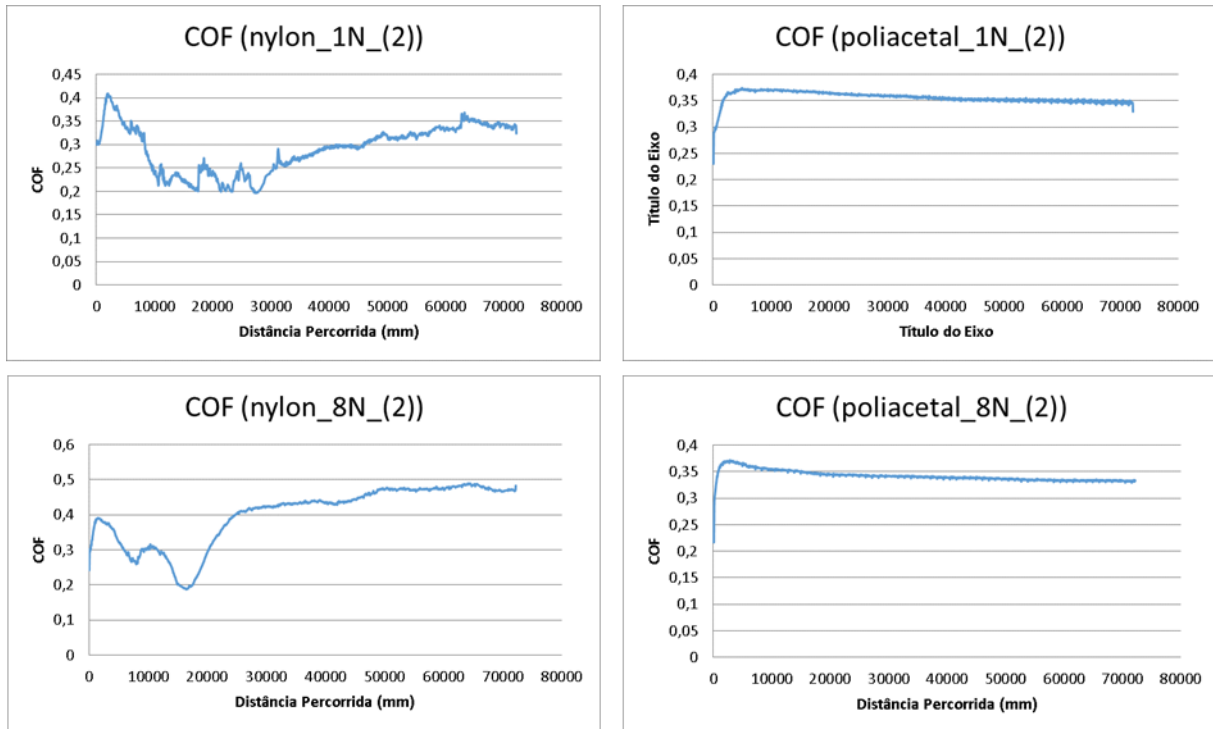


Figura 10. Imagem comparativa de COF esferas 1N e 8N, POM e Nylon

A relação de contato entre as duas superfícies é uma situação que envolve a presença de vários fenômenos, de acordo com [2] alguns materiais poliméricos podem alongar-se consideravelmente sem provocar o rompimento do material e de suas fibras o que pode causar uma elevada força adesiva entre as superfícies, isto pode resultar no COF da ordem de 0,35 obtido pelo POM, enquanto o Nylon apresentou uma considerável variação e manteve valores abaixo de 0,3, figura 10.

A figura 11 compara em um quadro imagens da esfera obtidas por meio de microscópio óptico, de acordo com o padrão seguido pelas outras comparações foram listadas as imagens de 1N e 8N de ambos materiais. De forma inicial é possível ver de forma nítida a presença das fibras nas esferas Nylon, enquanto as esferas de POM apresentam uma estrutura um nível superior de uniformidade.

De forma a quantificar o desgaste de cada amostra o \emptyset foi avaliado por meio comparativo com base na escala das imagens, neste caso vale ressaltar que o resultado tem base comparativa, ou seja, para valores exatos faz-se necessário uso de um equipamento de precisão.

O desgaste comparativo entre a amostra de Nylon e POM com 1N é aproximadamente 20% superior na amostra de POM, figura 11, considerando o mesmo trajeto percorrido pela esfera. Para a carga de 8N os valores são ainda superiores sendo que o desgaste aproximado da esfera de POM é 2 vezes superior à de Nylon. De acordo com [8] a dureza tem um papel decisivo na resistência a ruptura dos materiais fica evidente a resistência superior do Nylon com fibra de vidro, onde a superioridade se comprova desgaste das amostras. De acordo com [9] ocorre um decréscimo do COF de acordo com o andamento de um teste, e que não existe uma relação direta com o aumento da carga de aplicação.

Deve ser levado em consideração neste momento que os materiais possuem propriedades distintas, que são objeto de desejo dos projetistas, onde o POM mesmo apresentando valores de desgaste superiores neste caso específico possui

um comportamento diferenciado na situação de impacto e de ruído, portanto deve-se fazer uma análise macro das necessidades específicas do projeto para a seleção do material adequado.

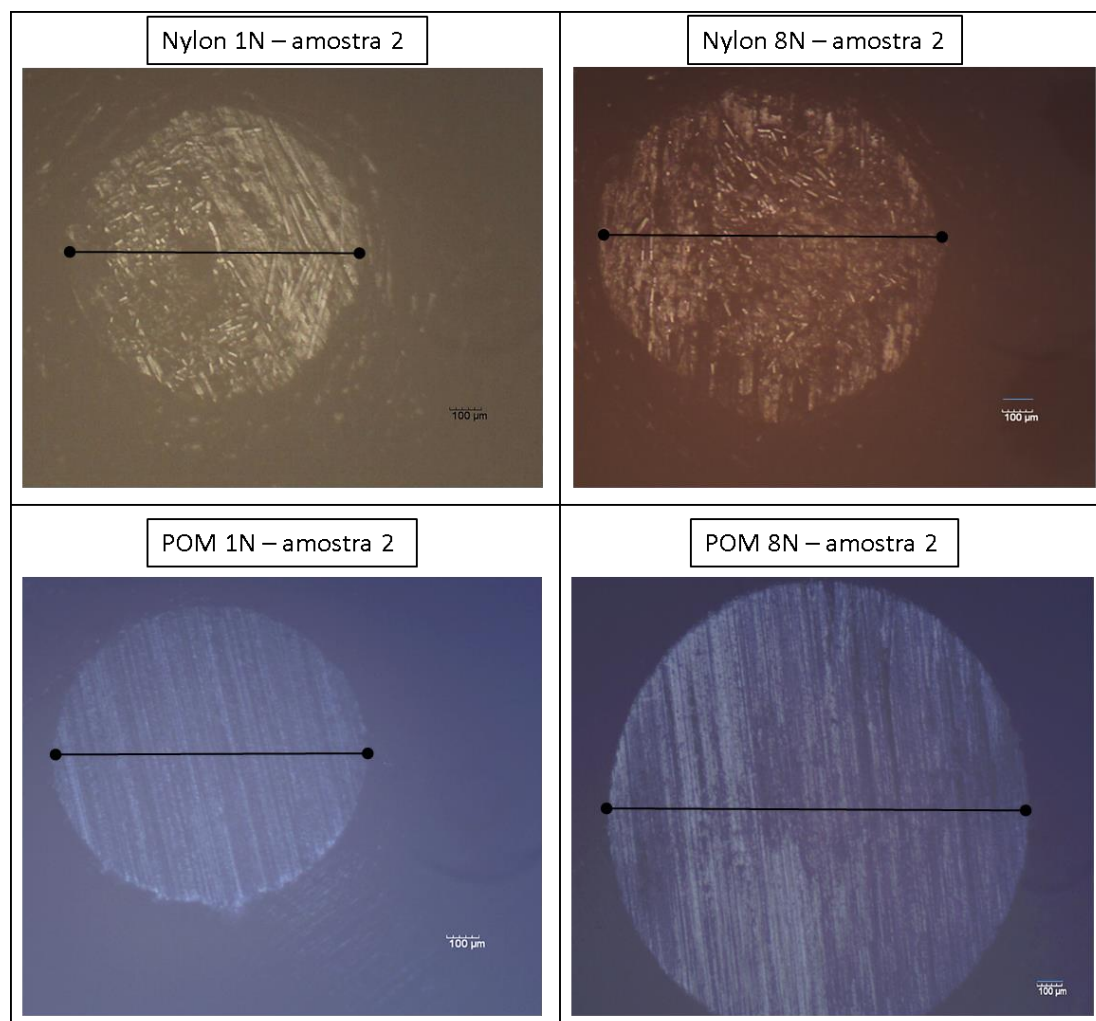


Figura 11. Imagem comparativa de microscópio óptico esferas 1N e 8N, POM e Nylon

4. CONCLUSÃO

As imagens e os comparativos indicam a superioridade no quesito desgaste da amostra para as esferas de Nylon com 20% de fibra, onde de forma comparativa, valores superiores a 2 vezes o desgaste da amostra de POM foi obtido, este desgaste é relacionado a presença das fibras que elevam a resistência mecânica do material, módulo de elasticidade e dureza. É possível obter quantidades maiores de fibra no material o que continuam a elevar a resistência mecânica.

5. AGRADECIMENTOS

Ao laboratório LAPEC da UFRGS e seus integrantes.

6. REFERÊNCIAS

1. Benedito de Moraes Purquerio e Carlos Alberto Fortulan, TRIBOLOGIA – ATRITO / DESGASTE– Aula 11 – Notas de aula V.2016
2. Bharat Bhushan, 1949, Introduction to Tribology, Second Edition, ed.A John Wiley & Sons, Ltd 2002.
3. Alumínio, Extrusão 2. Processos de extrusão (Guia técnico do alumínio:extrusão: vol. 1 – 5ª ed – São Paulo) ed.ABAL 2014.
4. Ligas e Têmperas de Extrusão ALCOA.
<http://www.aluminiosaojose.com.br/industria>
5. SCHROEDER TAVARES VIEIRA, Ewerton e LUIZ Leandro, Processos de injeção, Unisociesc, Joenvile 2014.
6. Wiebek, Helio, Plásticos de Engenharia, ed. Artliber, 2005.
7. M. J. NEALETHE, TRIBOLOGY HANDBOOK, 2001. Ed. Butterworth Heinemann, 2001.
8. Willian D. Callister, Jr. Ciência e Engenharia de Materiais,. Ed. LTC, 5º Edição. 2000
9. Hutchings, I.M. Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials, Ed. Arnold, 1992.

COMPARAÇÃO ENTRE DOIS SISTEMAS DE RESFRIAMENTO PARA REDUÇÃO DE FALHAS POR FADIGA TÉRMICA EM MOLDE DE INJEÇÃO DE ALUMÍNIO

Camargo, S. A.¹
Romeiro, L.C.²

¹ Engenheiro Mecânico, Sergio Antonio Camargo, Unisinos, camargo.sergio@yahoo.com.br.

² Engenheiro Metalúrgico, Ms. Lauro Correa Romeiro, Professor Graduação em Engenharia Mecânica, Unisinos, laurocr@unisinos.br.

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

Resumo

O presente trabalho consiste em comparar dois sistemas de resfriamentos utilizados em moldes. Ele compara um sistema helicoidal e um sistema em cascata. O projeto helicoidal proposto incluiu alteração na quantidade e geometria dos canais de resfriamento do macho, o qual permitiu um aumento de sua área de troca térmica, assim como um aumento da vazão e da temperatura do fluido de resfriamento. A proposta foi executada por meio de simulações, tendo como apoio o software ANSYS. Os resultados obtidos demonstraram que houve melhora significativa com o sistema helicoidal, quanto a vida útil dos machos no que concerne a falhas por fadiga térmica. Foi obtido como previsão teórica, um aumento do número de ciclos para que se inicie uma trinca por fadiga térmica, de 8400 para aproximadamente 91000 ciclos.

Palavras-chave: Fadiga térmica. Molde de injeção de alumínio. ANSYS. Goodman.

COMPARISON BETWEEN TWO COOLING SYSTEMS TO REDUCE FAULTS BY THERMAL FATIGUE IN ALUMINUM INJECTION MOLD

Abstract

The present work consists of comparing two cooling systems used in molds. It compares a helical system and a cascade system. The proposed helical design included a change in the quantity and geometry of the male cooling channels, which allowed an increase of its thermal exchange area, as well as an increase in the flow rate and the temperature of the cooling fluid. The proposal was executed through simulations, with the support of ANSYS software. The results showed that there was a significant improvement with the helical system, as well as the useful life of the males with regard to failures due to thermal fatigue. It was obtained as theoretical prediction, an increase in the number of cycles to start a thermal fatigue crack, of 8400 for approximately 91000 cycles.

Keywords: Thermal fatigue. Aluminum injection mold. ANSYS. Goodman.

1 INTRODUÇÃO

Os machos assim como os moldes de injeção de alumínio são submetidos a condições muito severas de trabalho, principalmente devido às grandes variações de temperatura durante operação. Com isso, as tensões e desgastes naturais

provocados pelo processo de injeção levam os mesmos a trincarem por fadiga. Os componentes do molde, do presente estudo, são construídos em aço DIEVAR e tratados termicamente para adquirir dureza próxima de 44 Rockwell C, passam por processo de nitretação e posterior adição de uma camada de PVD.

1.1 MOLDE DE INJEÇÃO E MACHO

Um molde de injeção pode ser considerado um trocador de calor onde predominam a condução e a convecção (BASSO, 2013)⁽¹⁾. A Figura 1 ilustra os meios de transportes de calor presentes em um molde. As cavidades e machos mantêm contato direto com o material injetado e estão sujeitos a sofrerem maior aquecimento, desgaste e o aparecimento de trincas (CRUZ, 2002)⁽²⁾.

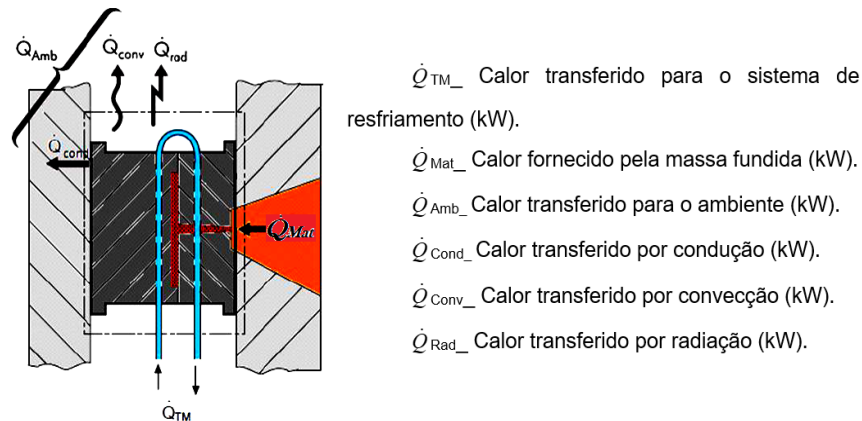


Figura 1. Transporte térmico em um molde de injeção. Fonte: Basso (2013, p. 91).

Na Figura 2, estão ilustradas as principais partes de um macho de molde de injeção de alumínio. As partes numeradas “3” e “4” representam respectivamente as conexões para entrada e saída do fluido de resfriamento.

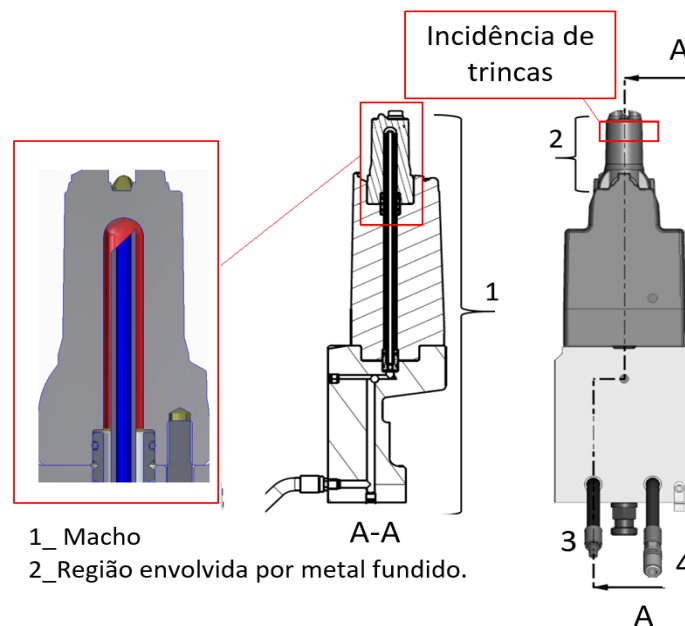


Figura 2. Principais partes de um macho de molde. Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Os sistemas de resfriamentos dos moldes têm um papel muito importante com relação as variações térmicas que levam a falha por fadiga. Existem sete tipos de sistemas de resfriamento em moldes. São estes: em linha, circular, serpentina ou helicoidal, lâmina ou “baffle”, cascata ou “bubbler”, pino térmico e adaptado ao contorno da peça (SACCHELLI, 2007)⁽³⁾.

A Figura 3(A), (BASSO, 2013)⁽¹⁾, apresenta um esquema de um sistema de resfriamento em cascata, na Figura 3(B) está representado um circuito de resfriamento helicoidal. Neste circuito, é utilizado um sistema de espiral onde o fluido é conduzido até a ponta do macho e retorna por um circuito lateral em forma de hélice usinado na sua lateral.

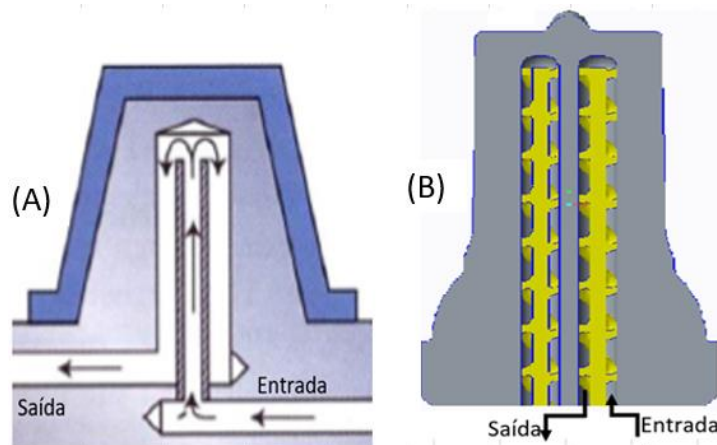


Figura 3. Circuitos de resfriamento. (A) Cascata, (B) Helicoidal. Fonte: Basso (2013, p. 28).

1.2 PROCESSO DE FADIGA EM MOLDES

Com o aquecimento, devido ao processo de injeção, a superfície da cavidade do molde sofre uma expansão volumétrica e resultando assim, em um estado de tensão compressivo. Durante o resfriamento subsequente, o material irá então se deformar sob estado de tensão trativo e em uma temperatura de menor ductilidade. Dependendo do nível destas tensões e do número de ciclos, podem então surgir as trincas de fadiga térmica (FERREIRA, 2001)⁽⁴⁾. A Figura 4, Muhic (2010)⁽⁵⁾, demonstra algumas proporções atingidas por trincas em uma superfície de molde. Na Figura 5 está demonstrado as proporções de uma trinca que ocorreu em macho de molde de injeção de alumínio. Na mesma imagem, o círculo no centro identificado pelo número “2”, mostra o canal onde circulava a água de resfriamento. O círculo externo, marcado pelo número “1” indica a região que fica envolvida pelo alumínio fundido.

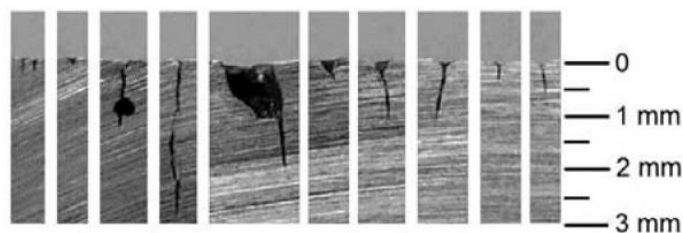


Figura 4. Trinca por fadiga térmica em superfície de molde. Fonte: Muhic (2010, p. 4).

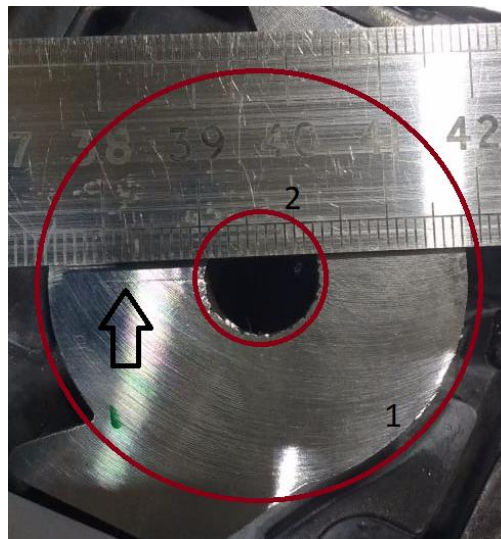


Figura 5. Trinca em um macho resfriado com água. Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Para condições com gradientes térmicos, foi derivada uma fórmula para encontrar as tensões. Ela leva em conta que em um componente existe uma diferença de temperatura entre duas superfícies, uma submetida a aquecimento e outra submetida ao processo de resfriamento (SABHARWAL, 1969)⁽⁵⁾.

$$\sigma = -\frac{m.E}{m-1} \cdot \alpha \cdot (T_1 - T_2) \quad (1)$$

Onde:

σ _ Tensão (MPa).

M _ (1/Coeficiente de Poisson do material)= 10/3 para aços.

A _ Coeficiente de dilatação o linear do material ($12,6 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ para o aço).

E _ Módulo de elasticidade do material (valor médio, 206800 MPa).

T_2 _ Temperatura no limite/face superior ($^{\circ}\text{C}$).

T_1 _ Temperatura no limite/face inferior ($^{\circ}\text{C}$).

De acordo com Norton (2013)⁽⁷⁾, para o cálculo do número de ciclos (N), leva-se em conta a tensão alternada (σ_a) que é o resultado da média da diferença das tensões máximas (σ_{max}) e mínimas (σ_{min}) em um ciclo de processo. (N) indica o número de ciclos para que se inicie uma trinca por fadiga. O método de cálculo para a vida em fadiga, leva também em conta, as condições geométricas no modelo proposto por Goodman.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o estudo das tensões térmicas é necessário conhecer o perfil térmico do molde antes e durante o processo de injeção, pois neste intervalo, a temperatura de algumas regiões passam de um estado inferior para um estado de temperaturas mais elevadas.

Foram estudados dois casos, um modelo em cascata que atualmente é utilizado, indicado na Figura 6 como “*Teste 1*”, e um modelo proposto, um sistema helicoidal, com a geometria dos canais de resfriamento alterada, indicado na Figura 6 como “*Teste 2*”.

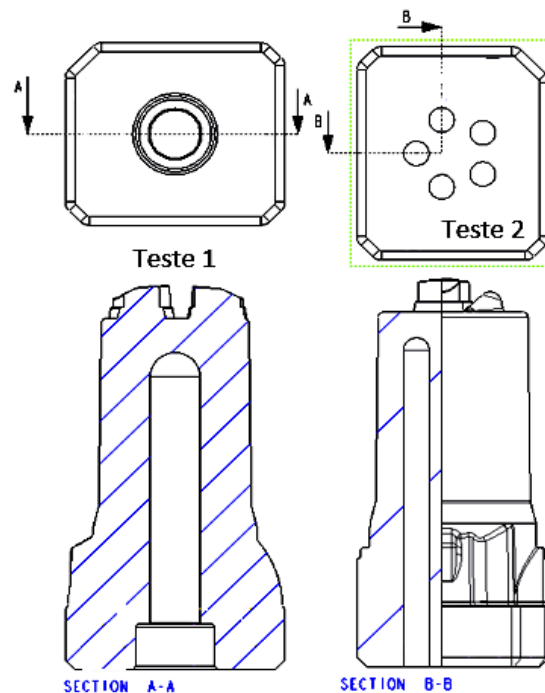


Figura 6. “Teste 1” (modelo atual). “Teste 2” (modelo proposto). Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

O modelo do “Teste 1” da Figura 6 tem como área de resfriamento 55 cm². No modelo proposto, “Teste 2”, foram inseridos 5 furos e um circuito helicoidal, semelhante ao da figura 3(B), com área de troca térmica de 170 cm². Foi utilizada a água como fluido de resfriamento. A Tabela 1 resume as condições e as diferenças do projeto e processos da condição atual e proposto. No “Teste 1” foi testada a circulação de 1,5 l/min e 50°C na entrada.

No “Teste 2” foi testada a circulação de 4,8 l/min e com temperatura de entrada de 180°C. O objetivo das diferenças entre os dois sistemas de resfriamento foi de diminuir o gradiente térmico através da parede do macho. O tempo de permanência do metal injetado dentro do molde é de aproximadamente 8 segundos e isso representa uma taxa de calor de 10 kW que é fornecido do metal fundido para o componente do molde. A espessura mínima de parede foi mantida em 8 mm para o modelo do “teste 2” e 15 mm para o modelo do “teste 1”. As simulações foram realizadas no Software ANSYS Fluent.

Tabela 1. Condições dos testes para simulação térmica.

Teste	Geometria		Fluído	
	Nº Canais	Área de Troca Térmica (cm ²)	Vazão l/min	Temp. de Entrada (°C)
1 (Casata)	1	55	1,5	50
2 (Helicoidal)	5	170	4,8	180

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 TESTE 1

Os perfis térmicos do teste 1 encontram-se na Figura 7, onde o segmento de reta orientado pelas extremidades “1” e “2” indicam o gradiente de temperaturas através da parede do macho. As diferenças de temperaturas antes e após processo de injeção ficam mais claras no Gráfico 1.

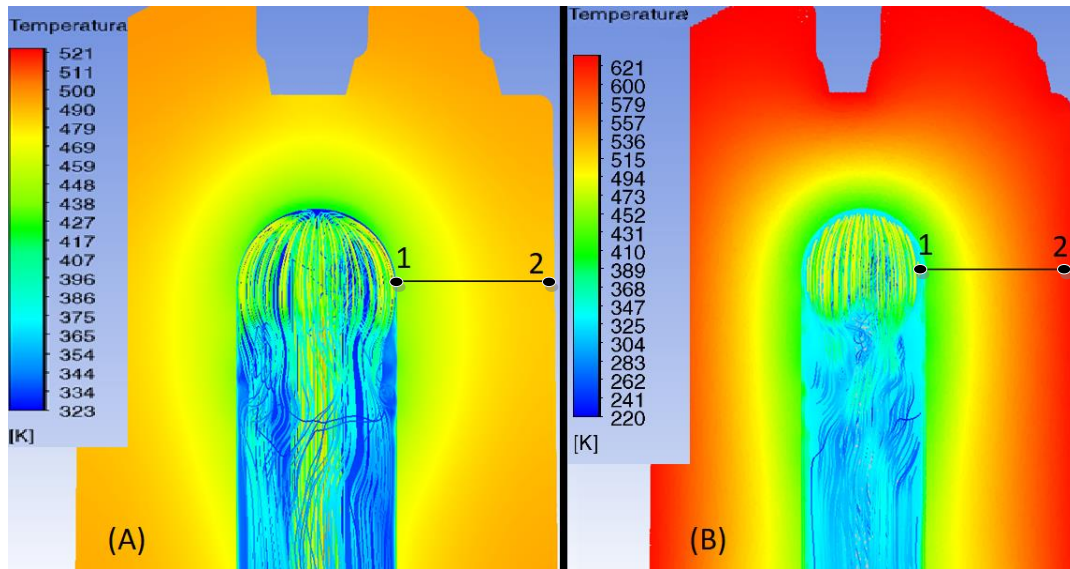
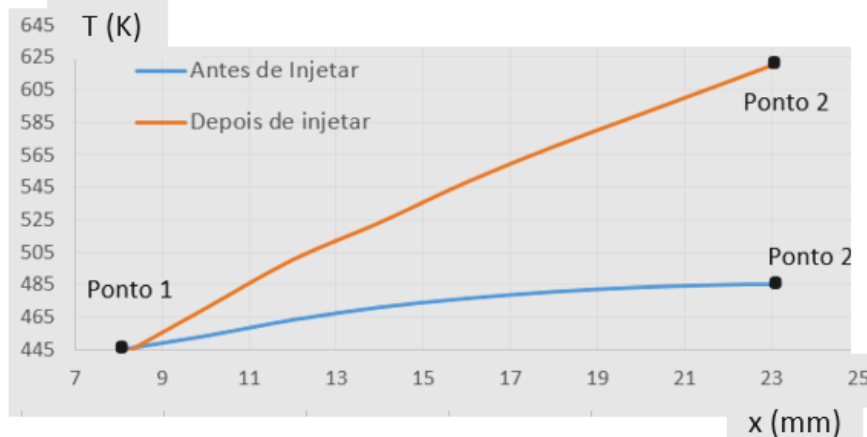


Figura 7. Temperaturas antes (A) e depois (B) do processo de injeção. Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Gráfico 1. Gradiente térmico através da parede do macho antes e após a injeção.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

As tensões provenientes do carregamento térmico são de aproximadamente 111 MPa para antes do processo de injeção e, de 346 MPa durante o processo.

3.2 TESTE 2

Para o “teste 2”, foram encontradas as seguintes condições térmicas antes do processo de injeção, dispostas na Figura 8(A). Nela foram encontradas na parede

interna, onde circula a água de resfriamento, a temperatura de 207°C e na parede externa 229°C.

As temperaturas interna e externa encontradas durante o processo de injeção são, aproximadamente, 251°C e 305°C, indicadas na figura 8(B). O Gráfico 2 apresenta o gradiente térmico encontrado na seção de parede do segmento 1 e 2 da figura 8.

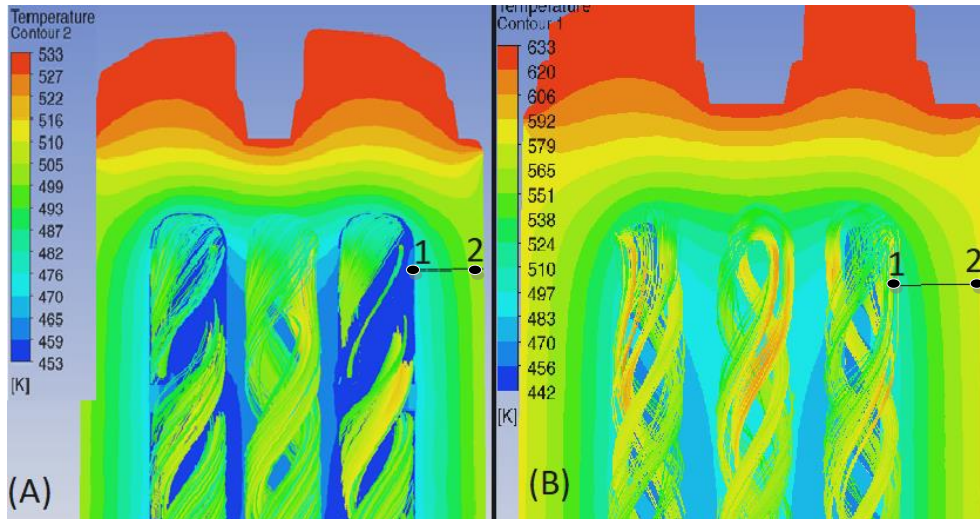
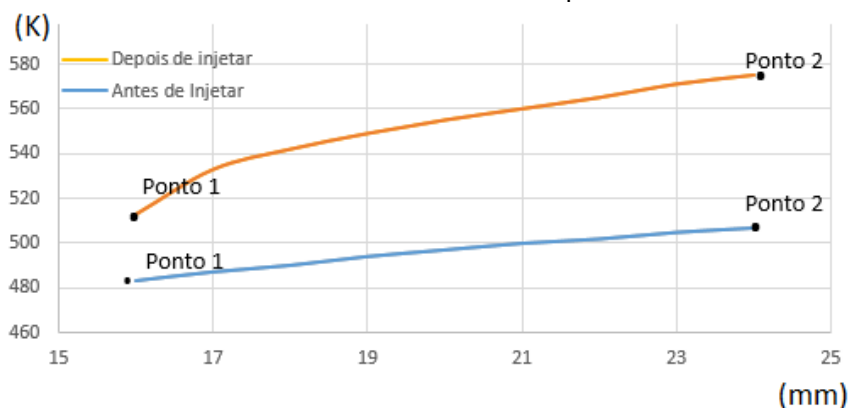


Figura 8. Temperaturas antes (A) e depois (B) do processo de injeção. Fonte: Elab. pelo autor (2018).

Gráfico 2. Gradiente térmico através da parede do macho.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

As tensões provenientes do carregamento térmico são de aproximadamente 82 MPa para antes do processo de injeção e, de 201 MPa durante o processo.

As extremidades das linhas “azul” e “laranja” dos Gráficos 1 e 2, correspondem às temperaturas internas, “ponto 1”, e externa, “ponto 2”. Elas indicam as temperaturas antes do processo de injeção e subsequente ao processo. Com elas, é possível calcular as tensões provenientes do carregamento térmico.

O incremento de área do sistema de resfriamento helicoidal (teste) possibilitou o aumento da vazão de 1,5 litros por minuto para 4,8 litros por minuto e um incremento de 130°C na temperatura da água de resfriamento.

Levando em conta estas alterações, o componente resfriado diminuiu o gradiente térmico, que anteriormente era de 93°C, passando para 54 °C, um decréscimo de 42% em relação ao sistema de resfriamento em cascata. Com isso, as tensões provenientes das condições térmicas também diminuíram, a tensão que

atingia valores da ordem de 234,5 MPa passou para 119,1 MPa, um decréscimo de 49%. Resultando assim, em um aumento significativo na vida em fadiga.

REFERENCIAS

- 1 Basso, Evair José. Análise comparativa entre sistemas de refrigeração de moldes de injeção. 2013. 91 f. Caxias do Sul. Universidade de Caxias do Sul.
- 2 Cruz, Sergio da. Moldes de injeção. 2ª edição revista e ampliada. Editora Hemus. 2002.
- 3 SACCHELLI, C. M. (2007). Sistematização do processo de desenvolvimento integrado de moldes de injeção de termoplásticos. Tese de Doutorado (Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2007. 305 f.
- 4 Ferreira, Gustavo Emiliano Falcão. Avaliação da resistência à fadiga térmica do aço AISI H13 nitretado pelos processos gasoso e por plasma. 2001. 97 f. Dissertação de mestrado (Engenharia de Materiais). Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina.
- 5 MUHIC, M.; TUSEK, J.; KOSEL, F.; KLOBCAR, D.; PLETESKI, M. THERMAL FATIGUE CRACKING OF DIE-CASTING DIES. Traduzido do Inglês. 2010. 4 f. Artigo. METALURGIJA 49 (2010) 1, 9-12. 2010.
- 6 SABHARWAL, Kulwant Singh. Thermal Fatigue Testing of die Casting Die Steels. 1969. 146 f. Tese de Mestrado (Engenharia Metalúrgica). THE UNIVERSITY OF MISSOURI-ROLLA. 1969. Disponível em:
<https://scholarsmine.mst.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=7966&context=masters_theses>.
- 7 NORTON, Robert L. Projetos de Máquinas: Uma Abordagem Integrada. 4º Edição, Ed. Bookman. 2013.

COMPILAÇÃO SOBRE A APLICAÇÃO DE ESCÓRIAS SIDERÚRGICAS EM CONCRETOS

Piussi, S. L.¹
Cunha, M. G. C.²
Tubino, R. M. C.³

- ¹ Especialista, Sandro Luís Piussi, Universidade Federal do Rio Grande do Sul e sandro.piussi@gerdau.com.br
² Mestre, Michel Gustavo Cardoso Cunha, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e mi.g.cunha@hotmail.com
³ Prof. Dra. Rejane Maria Candiota Tubino, Universidade Federal do Rio Grande do Sul e rejane.tubino@ufrgs.br

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

Resumo: O objetivo deste artigo é fazer um compêndio dos estudos existentes sobre incorporação de escórias siderúrgicas na fabricação de concretos. O processo siderúrgico, em especial nas etapas iniciais de fabricação do aço, gera um volume considerável de resíduos. Os principais resíduos, os quais são gerados em maior volume, são as escórias de alto-forno e as escórias de aciaria. Estes resíduos, devido à sua grande quantidade, podem gerar um importante impacto ambiental caso sejam dispostos no meio ambiente. Este fato tem motivado diversos estudos para a utilização de tais resíduos como matéria prima de outros processos. A construção civil, em especial a incorporação de resíduos ao concreto, tem se mostrado uma excelente alternativa para a utilização dos resíduos. Isto se deve, fundamentalmente, pela propriedade do cimento de imobilização de contaminantes através de processo de solidificação / estabilização.

PALAVRAS - CHAVE: Escória de alto-forno, escória de aciaria, produção de concreto, solidificação/estabilização.

COMPILATION ON THE APPLICATION OF STEEL SLAGS IN CONCRETE

Abstract: The objective of this article is to compendium of existing studies on the incorporation of steel slags in the manufacture of concretes. The steelmaking process, especially in the early stages of steelmaking, generates a considerable amount of waste. The main residues, which are generated in greater volume, are blast furnace slag and steel slag. These residues, due to their large quantity, can generate a significant environmental impact if they are disposed in the environment. This fact has motivated several studies for the use of such waste as raw material for other processes. Civil construction, especially the incorporation of waste into concrete has proved to be an excellent alternative for the use of waste. This is fundamentally due to the cement property of immobilization of contaminants through the solidification / stabilization process.

KEYWORDS: Blast furnace slag, steel slag, concrete production, solidification/stabilization.

1 INTRODUÇÃO

A produção de aço é uma atividade que opera grandes volumes e também gera uma expressiva quantidade de resíduos. Estes resíduos, caso não tenham aplicação em outros processos, acabam por destinados a aterros, os quais além do evidente impacto ambiental que possuem, geram custo para as empresas. Estas razões, tem levado as empresas siderúrgicas a procurarem as universidades e instituições de pesquisa em busca de alternativas para utilização destes resíduos.

Um dos principais problemas para a utilização dos resíduos é que normalmente eles necessitam passar por algum tipo de preparação para poderem ser utilizados em outros produtos. Estes processos podem ser desde peneiramento, cominuição, pelletização, secagem, etc. Uma vez preparados para utilização estes resíduos passam a se chamar coprodutos e ao invés de gerarem custo para a sua disposição, possuem o potencial de gerar receitas com a sua comercialização.

A grande questão em relação à utilização de resíduos como coprodutos é encontrar alternativas de uso que apresentem viabilidade técnico-econômicas. Desta forma, os estudos devem encontrar aplicações que atendam as características e especificações técnicas dos produtos finais, bem como possuam uma equação financeira positiva. Quer dizer, o custo que a empresa teria na preparação do coproduto deve ser no máximo igual ao custo que a empresa tem para dispor o resíduo em aterro (caso o coproduto não tenha valor de venda). No caso da produção de coprodutos com valor de venda, isto deve ser considerado na equação. Também é um fator relevante de custo nestes casos o custo com transportes.

Ainda que as empresas tenham o seu raciocínio de utilização de coprodutos muito voltada apenas ao benefício econômico direto que isto pode trazer, existem outros importantes ganhos ao se utilizar coprodutos. Dentre os principais pode-se citar a diminuição do uso de áreas para depósito de resíduos, diminuindo muito o impacto ambiental que isto causa. Tem-se também um expressivo benefício relacionado à redução do uso da matéria prima que está sendo substituído pelo coproduto. Normalmente esta matéria prima é oriunda de um recurso natural que com a sua substituição faz com que se diminua a sua retirada da natureza.

O objetivo deste artigo é listar as principais aplicações dos resíduos siderúrgicos na fabricação de concretos, dando ao leitor uma boa visão geral das possibilidades existentes.

2 CONCEITO E CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO

Pode-se definir o concreto como um produto produzido a partir de um meio cimentante (cimento) e a água. No entanto, conforme citado por NEVILLE; BROOKS (2013) “o concreto pode ser produzido com diversos tipos de cimento e também conter pozolanas, como cinza volante, escória de alto forno, sílica ativa, adições minerais, agregados de concreto reciclado, aditivos, polímeros e fibras”.

Cada um dos componentes do concreto possuem uma função na mistura. O cimento, seja ele qual for, é o elemento ligante da mistura, a água cumpre um fator de ativador da reação e dar plasticidade à mistura antes da solidificação. O agregado graúdo pode cumprir várias funções, por ser mais barato que o cimento, tem a função de dar volume e a massa de concreto, também é responsável por dar resistência ao concreto, devido ser normalmente formado por rochas britadas e finalmente, pela sua forma irregular que ajuda no intertravamento interno do concreto, também

contribuindo para melhorar a resistência. O agregado miúdo por sua vez, também cumpre um papel de dar volume à mistura e preenchimento dos espaços. Além destes três principais componentes, o concreto pode receber diversos tipos de aditivos ou de adições minerais, com objetivos de conferir-lhe novas características, melhorar as suas propriedades, tais como resistência, impermeabilidade, plasticidade, etc. ou acelerar o seu processo de cura.

Uma das questões mais importantes quando está se preparando um concreto é a razão entre os seus componentes. Qual o percentual que deve ser utilizado de cada um deles para que seja obtido o resultado desejado. Para cada tipo de aplicação, pode-se ter características mais ou menos importantes. Dentre as várias características, pode-se destacar a resistência à compressão, resistência à abrasão, dilatação/retração, permeabilidade, plasticidade da mistura para facilitar a sua moldagem, etc.

Para cada tipo de uso do concreto, diferentes características podem ser necessárias e, portanto, diferentes composições podem ser utilizadas. Na utilização de resíduos aplicados a massa de concreto, o cuidado que se deve ter é identificar exatamente qual a melhor composição para que as características necessárias sejam atingidas, sempre lembrando que a relação água/cimento interfere diretamente nas suas propriedades.

3 PROCESSO DE SOLIDIFICAÇÃO / ESTABILIZAÇÃO DE RESÍDUOS

A tecnologia de solidificação / estabilização emprega materiais ligantes orgânicos ou inorgânicos (cimento Portland, argila organofílica, asfalto, cal, cinzas volantes, etc.) que alteram as características físicas e químicas dos resíduos contaminados. Este processo é bastante utilizado para imobilizar contaminantes antes da sua disposição em aterros ou transformá-los em outros produtos. O procedimento envolve a solidificação / estabilização de resíduos sólidos industriais em matrizes sólidas, tais como argamassas de cimento, blocos de concreto, argila cerâmica, etc. produzindo-se materiais utilizáveis na construção civil.

Conforme Poon et al. (1986) o processo de solidificação / estabilização através da combinação com o cimento pode imobilizar os contaminantes através de reações químicas e mecanismos físicos. Conforme COCKE citado por LIN et al (1996), a complexidade dos processos de solidificação / estabilização resulta da combinação de efeitos da química do cimento com soluções de equilíbrio e processos cinéticos e fenômenos próximos à superfície.

A solidificação corresponde ao encapsulamento de um resíduo em uma matriz sólida de alta integridade estrutural. Segundo Vargas (2002) o encapsulamento pode resultar em resíduos de finas partículas (micro encapsulamento) ou em resíduos de maior dimensão (macro encapsulamento). A solidificação não está relacionada necessariamente a reações químicas, mas pela restrição de movimentação dos contaminantes por meio da redução da área superficial exposta à lixiviação e/ou pelo isolamento do resíduo dentro de uma cápsula impenetrável.

A estabilização é o processo de reduzir a periculosidade dos resíduos pela modificação dos seus contaminantes para formas menos tóxicas, menos solúveis e menos móveis. As características de estado físico e de manuseio com resíduos, não são necessariamente modificados pela estabilização (EPA, 1999).

No caso de resíduos perigosos ou com capacidade de lixiviar ou solubilizar contaminantes, Poon, Clarke e Perry (1986) afirmam que a combinação com o

cimento pode imobilizar os contaminantes através de reações químicas e mecanismos físicos, conhecida comumente como processo de solidificação/estabilização.

O ligante mais estudado e mais utilizado até hoje, segundo Roy et al. (1991), é o cimento. A reação de solidificação com o cimento, além de um processo simples, econômico e amplamente utilizado, produz um produto bastante estável e com amplas possibilidades de utilização na construção civil.

4 ESTUDOS REALIZADOS COM A ADIÇÃO DE RESÍDUOS SIDERÚRGICOS NO CONCRETO

Devido à excelente característica de imobilização de contaminantes no concreto, vários estudos já foram realizados visando encontrar soluções para a utilização dos mais variados tipos de resíduos. No caso específico de resíduos siderúrgicos as principais aplicações até o momento estudadas foram aqui reunidas com o objetivo de servir como um guia rápido de consulta.

4.1 ESCÓRIA DE ALTO-FORNO

A escória granulada de alto forno é um coproduto resultante da produção de ferro gusa pela redução do minério de ferro em um equipamento chamado alto-forno. Esta escória é composta por silicatos e aluminatos que ficam sobrenadantes no ferro gusa. Esta escória é então retirada da superfície do ferro gusa e rapidamente resfriada. É então obtido um produto de superfície irregular que pode ser britado em diferentes granulometrias podendo chegar a granulometria do cimento Portland.

A composição da escória de alto-forno é de aproximadamente 95% de cálcio-alumino silicatos amorfos (Paris et al, 2016). Devido às suas propriedades cimentícias, a escória de alto-forno granulada, pode ser usada para substituir o cimento Portland em concretos (Pal et al., 2003).

A hidratação e cura de escória de alto-forno com água é um processo mais lento do que a da mistura de cimento puro devido a partículas de escória terem uma camada externa altamente insolúvel de sílica e alumina amorfa (Taylor, 2004). No entanto, quando combinado com cimento Portland, o Ca(OH)_2 do cimento, serve como um componente ativador que acelera a taxa de hidratação. Testes revelaram que a utilização de escória de alto forno granulada na proporção de 40 a 60% em relação ao cimento Portland é uma porcentagem ótima, pois resulta em resistência à compressão compatível aos 28 dias quando comparada com um concreto feito com 100% de cimento Portland (Malagavelli, 2010; Wainwright e Rey, 2000).

Os resultados experimentais do estudo realizado por Coelho et al (2002), comprovaram a possibilidade de utilização de altos teores de escória como adição mineral e agregado miúdo em concretos, sem grande influência na carbonatação e retração dos concretos, quando comparados com concretos confeccionados com baixos teores de escória de alto-forno de mesma resistência à compressão, aproximadamente 40 MPa e desde que sua dosagem seja adequada e a cura eficiente. Este estudo ainda afirma que concretos confeccionados com altos teores de escória moída em adição ao cimento e com escória granulada em substituição à parte da areia, podem ser usados para produzir estruturas não só duráveis como, também, benéficas ao meio ambiente e com menor custo ao longo do ciclo de vida, podendo ser considerados como concretos eco eficientes.

A escória de alto-forno vem sendo utilizada em concretos há muitos anos. Existem registros da utilização da escória de alto-forno na argamassa de cimento durante a construção do Empire States Building em 1930 (Escalante-Garcia et al., 2009). Devido aos bons resultados apresentados, a utilização de escória de alto forno na produção de concretos segue aumentando, configurando-se em uma boa opção para aproveitamento deste coproduto na construção civil.

Este tipo de escória é mais utilizada como adição e tem normalização pela ABNT desde 1964.

4.2 ESCÓRIAS DE ACIARIA

As escórias de aciaria são coprodutos oriundos dos processos de produção do aço. Elas podem ser geradas em fornos elétricos a arco (EAF), em fornos panela (LF) e em convertedores de Oxigênio (Basic Oxigen Furnace - BOF), que são fornos que utilizam o oxigênio como energia. A produção de aços (carbono ou inoxidável) gera cerca de 5% a 20% de escória em relação à produção do aço (Han et al., 2015)

As composições das escórias de aço geradas são altamente variáveis e, basicamente, podem ser classificadas em escória BOF, escória EAF e escória LF. Assim como a escória de alto-forno, estas escórias de aciaria podem ter várias aplicações, principalmente na agricultura e na indústria da construção. Em relação ao uso em concretos, também podem ser utilizadas como substituto ao cimento, bem como agregados graúdos ou miúdos do concreto.

Em comparação com o uso disseminado de escória de alto-forno, as escórias de aço sofrem menos modernização, já que geralmente encontram várias barreiras tecnológicas à valorização, como a instabilidade de volume (Pan et al., 2016). Nos EUA, cerca de 60,3% da produção total de escória de aço é usada diretamente como base rodoviária, enquanto o restante é usado para concreto asfáltico (10,9%), enchimento (10,8%) e produção de clínquer (5,0%) (Ilyushechkin et al, 2012).

O uso de escórias de aciaria na substituição do cimento também tem sido muito utilizada devido à crescente demanda de produção de cimento e ao seu benefício ambiental na produção de clínquer de cimento, pois colabora para a redução das emissões de CO₂ e o custo total dos materiais utilizados (Reddy et al., 2006).

4.2.1 Escória de Conversores de Oxigênio (Basic Oxigen Furnace - BOF)

O processo de produção de aço em conversores de oxigênio (BOF) é realizado com a mistura de grande quantidade de ferro gusa (oriunda de altos-fornos) e uma parcela de sucata de aço. Também são adicionados cal/dolomita no conversor e um grande fluxo de oxigênio com 99% de pureza é aplicado em velocidade supersônica para iniciar reações de oxidação intensas a uma temperatura de 1600–1650° C. Uma vez que a composição química desejada é alcançada, o fornecimento de oxigênio é interrompido e a escória, composta das impurezas combinadas com a cal queimada ou dolomita, flutua sobre o aço fundido.

Existem numerosos métodos disponíveis para resfriamento de escórias de aço, incluindo resfriamento a ar natural, pulverização de água, resfriamento de ar e resfriamento de caixa rasa. O meio de arrefecimento e a taxa de arrefecimento destes métodos são bastante diferentes, resultando assim em composições variáveis, morfologia, propriedades de hidratação e características de lixiviação da escória de aço produzida. As escórias de aço também podem passar por processos de recuperação de metais (por exemplo, trituração, peneiramento e separação magnética) antes de ser trabalhada para tornar-se um coproduto.

As escórias de conversores de oxigênio (BOF) são utilizadas principalmente como base e sub-base na construção de estradas, no entanto também existe uma parcela que é utilizada no concreto, principalmente como substituto dos agregados graúdos e miúdos. Conforme Masuero, et al (1996), levantamentos realizados nos Estados Unidos, mostram que 77% da escória de aciaria gerada pelas companhias que foram pesquisadas é utilizada na construção de rodovias, estabilização de solos, lastros de ferrovias, pavimentação asfáltica e aterros.

Um dos problemas mais relevantes das escórias de aciaria é a expansão de volume. A escória de BOF pode possuir até 10% de f-CaO, e a hidratação de f-CaO pode aumentar a expansão de volume em 98%, resultando em uma pressão interna maior e, portanto, danos ao concreto (Yi et al, 2018). Existem vários métodos para controlar o teor de F-CaO na escória, tais como spray de água, oxidação de escória e resfriamento a ar, abafamento quente, o procedimento de calagem livre de cal modificada, atrito e quelação e carbonatação acelerada. Conforme Adegoloye et al., 2016 e Pellegrino et al., 2013, citados por Yi et al (2018), vários estudos relataram que o intemperismo natural é uma abordagem eficaz para mitigar a expansão de volume da escória de BOF.

Além dos usos mais comuns da escória BOF que é como agregado (graúdo ou miúdo) ou como base e sub-base de estradas, também pode-se utilizar a escória BOF para produção de clínquer de cimento. Adicionando escória BOF ao processo de fabricação do clínquer de cimento permite reduzir a temperatura de queima e, portanto, reduz o consumo de energia. O estudo conduzido por Monshi e Asgarani, 1999 citado por Yi J et al, 2018 indica que o cimento misturado com 6% de escória de BOF, 37% de escória de ferro, 57% de calcário e 3% de gesso apresentou desempenho satisfatório, comparado com o cimento Portland comum.

4.2.2 Escória de Forno Elétrico a Arco (EAF)

Na produção de aço, existem basicamente dois tipos de rotas, a chamada integrada, onde o processo inicia pelo minério de ferro e outra, conhecida como mini mills, que utiliza como principal matéria prima a sucata ferrosa. Neste último processo, a sucata é fundida em equipamentos chamados fornos elétricos a arco (EAF). Nestes fornos, também ocorre a geração de escória como subproduto.

De acordo com a World Steel Association, o aço fabricado em forno elétrico a arco usa eletricidade para fundir a sucata a ser reciclada. Aditivos, como ligas, são usados para ajustar a composição química desejada. A energia elétrica pode ser suplementada com oxigênio injetado no EAF. Cerca de 25% do aço no mundo é produzido através da rota EAF.

Nos fornos EAF pode-se produzir aço carbono e aço inoxidável, com a adição de ligas metálicas durante o processo de fusão. Dois tipos de escória de aço podem ser gerados de acordo com o processo EAF, incluindo (i) a escória EAF-C da produção de aço carbono, e a escória EAF-S da produção de aço inoxidável.

A sucata de aço, por ser uma matéria prima muito mais variável do que o ferro gusa, tende a gerar escórias EAF com composição química com uma faixa muito mais ampla de variação do que a escória BOF.

A utilização do pó de escória EAF como material suplementar de cimento foi tema do estudo de Muhmood et al. (2008). Este estudo verificou o comportamento cimentício e pozolânico da escória de aciaria de forno a arco elétrico. A análise térmica da escória hidratada mostra que o tratamento da escória recebida aumenta a capacidade de absorção de água, propriedade essencial para o comportamento cimentício. Em relação à resistência à compressão dos cimentos misturados com

escória verificou-se que a substituição de 20% de escória granulada de alto forno por escória de aciaria com forno a arco elétrico (EAF) não diminui a resistência em 28 dias. A resistência do cimento de controle é de 58,6 MPa. Em comparação com 58 MPa obtidos para o cimento com 20% de escória não tratada. A substituição desta escória não tratada por escória tratada exibe a maior resistência, 61 MPa e um potencial para aumentar a força após 28 dias.

Ainda segundo Muhmood et al. (2009), no caso da mistura de cimento sem escória de alto forno, a substituição de 15% de clínquer por escória de aço não diminui significativamente a resistência, 64,4 MPa em comparação com 66,5 MPa para o cimento de controle. Substituir 30% de clínquer na mistura de cimento com escória de forno de arco elétrico, no entanto, resulta em diminuição significativa na resistência, 53,4 MPa. Verificou-se que a resistência pozolânica da escória aumentou significativamente devido à refundição de 2,0 MPa para a escória recebida a 8,0 MPa para a escória tratada.

Também se pode usar a escória EAF para produção de clínquer de cimento. Tsakiridis et al. (2007) introduziram com êxito a escória EAF na produção de clínquer de cimento. Os resultados das análises químicas e mineralógicas, bem como o exame microscópico, mostraram que o uso da escória de aço não afetou as características mineralógicas do clínquer de cimento Portland assim produzido. Além disso, ambos os clínqueres foram testados determinando a capacidade de moagem, tempos de ajuste, resistência à compressão e solidez. Os resultados dos testes físico-mecânicos mostraram que a adição da escória de aço não afetou negativamente a qualidade do cimento produzido.

Finalmente pode-se citar o uso da escória EAF como agregados no concreto. Em comparação com a escória BOF, a escória EAF também foi adequadamente utilizada como agregados em concretos misturados. Com base no estudo apresentado na pesquisa de Qasrawi et al (2018), as seguintes conclusões e recomendações podem ser tiradas:

1. O uso de escória de aço como agregado fino tem um impacto negativo sobre a trabalhabilidade do concreto, especialmente para relações de substituição acima de 50%. No entanto, esse problema pode ser facilmente resolvido pelo uso de adições.
2. O uso de escória de aço como agregado fino em misturas de concreto tem um efeito positivo nas resistências à compressão e à tração; portanto, introduzi-lo em concreto eliminará um dos problemas ambientais criados pela indústria siderúrgica.
3. Os melhores resultados para o aumento da resistência à compressão são obtidos quando as porcentagens de substituição estão entre 15% e 30%. Quando valores ótimos são usados, o uso de escória de aço aumenta a resistência à tração do concreto em 1,1 a 1,3 vezes a resistência do concreto normal, dependendo da proporção utilizada. Portanto, cuidados especiais devem ser tomados ao projetar misturas ou ao agrupar o material no local ao usar a escória "como recebida" da fábrica.
4. No que diz respeito às resistências à compressão e à tração do concreto, a escória de aço é mais vantajosa para os concretos de menor resistência.
5. O uso de escória de aço em misturas de concreto normais é benéfico para o aumento da resistência à tração para todas as proporções de substituição. No entanto, os melhores resultados foram obtidos quando a porcentagem de substituição é de cerca de 50%. Quando valores ótimos são usados, o uso de escória de aço aumenta a resistência à tração do concreto em 1,4 a 2,4 vezes a resistência do concreto normal, dependendo da proporção utilizada.

6. Melhores resultados podem ser obtidos quando o material mais fino que 0,15 mm é eliminado. Neste caso, a resistência aumenta pelo aumento da quantidade de escória que substitui a areia.

O uso de escória de fornos de arco elétrico como um agregado é uma opção sustentável na fabricação de concreto, cujo desempenho é semelhante a um concreto agregado comum. Boa trabalhabilidade pode ser obtida usando-se um agente adequado de classificação e redução de água. Os resultados mostram que a qualidade geral do concreto é mantida e que seu desempenho é aceitável para a aplicação proposta (San-José et al., 2014).

4.2.3 Escória de Forno Panela (LF)

Após a produção de aço primário, as operações de refino de aço carbono e aço inoxidável são realizadas em um forno panela, produzindo a escória LF. O processo do forno panela é baseado nos princípios de desoxidação e ligas, homogeneização de temperatura e composição, dessulfuração, melhoria da limpeza do aço, inclusão de flotação e controle de forma de sulfeto e óxido. Devido as adições de ligas, as composições e propriedades da escória de LF produzida podem ser bem diferentes das escórias de BOF e EAF.

Devido a sua característica de granulometria mais fina, pulverulenta, existem basicamente duas possibilidades de utilização de escórias LF na fabricação de concretos. A primeira é utilizar como material suplementar de cimento. Yi et al (2018), concluíram que em relação à durabilidade e estabilidade, o conteúdo de f-CaO e f-MgO na escória LF pode resultar em grande expansão de volume, levando à desintegração dos pedaços de escória e perda de resistência. Geyer et al. (1997), após realização de ensaios concluíram que para confecção de concreto numa proporção de adição de até 10% de escória este material pode ser utilizado sem prejuízo à expansibilidade, mesmo quando se usa uma escória nova, recém-saída do forno (idade de referência zero). Há a tendência de se aceitar valores de até 0,8% como limite de estabilidade do cimento, verificado pela expansão em autoclave (Petrucci, 1978). No entanto, uma alta taxa de substituição de cimento por escória LF não é recomendada, pois poderá gerar grande expansibilidade, danificando o concreto. Segundo Geyer et al, 1997, nos ensaios de resistência à compressão e tração do concreto, os ensaios preliminares apontaram um aumento de resistência de 25 MPa para 40 MPa para adições de 5%. Com 35% a resistência manteve-se igual ao testemunho, com 25 MPa, aos 28 dias, para escória estável, com 1 ano de idade.

A segunda possibilidade de utilização da escória LF é na produção de clínquer de cimento. Iacobescu et al. (2016) utilizaram uma fração fina de escória de LF e outros materiais, visando compreender a influência da escória LF nas características do clínquer. Eles evidenciaram que o produto final de cimento Portland comum feito com 14% de escória LF exibiu melhor resistência mecânica, mas um tempo de endurecimento maior associado ao menor conteúdo de C₃A e a presença de Cr (age como um retardador). Do ponto de vista ambiental, uma redução de 12% na emissão de CO₂ pode ser obtida com o uso de 14% de escória LF na produção de clínquer de cimento.

5 CONCLUSÕES

Encontrar alternativas para o aproveitamento dos resíduos da indústria siderúrgica, possui claro benefício ambiental e econômico. Para o meio ambiente o

benefício direto é a não disposição do resíduo no ambiente, evitando importante impacto ambiental. O benefício econômico, para a indústria siderúrgica se dá diretamente pela transformação um resíduo que gera custos para a sua disposição em um coproduto que pode gerar receitas para as empresas.

Além dos benefícios citados para a indústria siderúrgica ainda existem os benefícios para a indústria da construção civil. No momento em que agregam coprodutos, sejam substituindo agregados ou até mesmo em substituição ao próprio cimento, a demanda por tais recursos naturais diminui, resultando em uma menor exploração de suas reservas naturais.

O cimento Portland, principal aglutinante usado no concreto, é produto de uma indústria que além de ser intensiva em termos de energia, é responsável por uma enorme emissão de CO₂, um dos gases do efeito estufa. A produção de cimento contribui de forma significativa para o aquecimento global, que leva à mudança climática (Aprianti, 2016).

Outra excelente justificativa para o uso de escórias siderúrgicas na produção do concreto é a propriedade que o cimento possui de encapsulamento dos contaminantes, que ocorrem pelo processo de estabilização/solidificação. Esta propriedade garante segurança ambiental no uso das escórias siderúrgicas, independente da sua composição, que pode variar de acordo com o processo de produção, ou tipo de aço. Portanto, concreto misturado com escórias de aço deve ser considerado como um material não perigoso, que é adequado para uso em indústrias de construção.

Conforme Barnett et al., 2006; Escalante-Garcia et al., 2009; Muhmood et al., 2009, citados por Aprianti, 2016, concretos preparados com escória tem muitas vantagens, eles possuem; maior durabilidade, calor de hidratação restrito, facilidade de acabamento, maior resistência à compressão, menor permeabilidade, resistência superior à reação de sílica alcalina devido à penetração de íons cloreto e sulfato, trabalhabilidade, valor ambientalmente amigável e econômico.

Em um mundo onde o crescimento populacional faz com que mais estruturas de concreto sejam diariamente construídas, aumentando muito a utilização dos recursos naturais, que estão cada vez mais escassos, a busca por um concreto ecologicamente correto tem se mostrado de fundamental importância. Desta forma, a utilização das escórias BOF, EAF e LF para a produção de cimento e concreto é uma importante estratégia na gestão de resíduos industriais para uma economia circular e mostra-se uma solução ideal para o desenvolvimento sustentável da sociedade.

Importante lembrar que estas escórias já devem estar estáveis em termos de expansibilidade antes da sua utilização.

REFERÊNCIAS

1. Neville, A.M., Brooks, J.J., 2013. Tecnologia do Concreto, 2a Edição.
2. Poon, C.S., Clarck, A.I., Perry, R., Permanent study on the cement based solidification for the disposal for hazardous wastes. Cement and concrete research, Vol. 16, p. 161-172.1986.

3. Lin, S.L., Cross, W.H., Chian, E.S.K, Lai, J.S., Giabbai, M., Hung, C.H. Stabilization and solidification of lead in contaminated soils. *Journal of hazardous materials*, Vol. 48, Nos 1-3, p 95-110, 1996.
4. Vargas, A. S., 2002, Estudo da viabilidade do uso do pó de aciaria elétrica à arco na confecção de blocos de concreto para pavimentação. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais PPGEM – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
5. EPA – Environmental Protection Agency. 1999 – Solidification/Stabilization Resource Guide – page 7
6. Roy, A., Eaton, H.C., Cartledge, F.K.; Tittlebaun, M.E., Solidification/stabilization of heavy metal sludge by a Portland cement/fly ash binding mixture hazard. *Waste Hazard. Mater.* 8,p. 33-39. 1991.
7. Paris, J.M., Roessler, J.G., Ferraro C. C., DeFord, H.D, Townsend, T.G., 2016. A review of waste products utilized as supplements to Portland cement in concrete. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.013>.
8. Pal, S.C., Mukherjee, A., Pathak, S.R., 2003. Investigation of hydraulic activity of ground granulated blast furnace slag in concrete *Cem. Concr. Res.* 33 (9), 1481 e 1486. [http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00062-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00062-0).
9. Taylor, H., 2004. *Cement Chemistry*. Thomas Telford Publishing, London.
10. Malagavelli, V., 2010. High performance concrete with GGBS and ROBO sand. *Int. J. Eng. Sci. Technol.* 2 (10), 5107 e 5113.
11. Wainwright, P.J., Rey, N., 2000. The influence of ground-granulated blast furnace slag (GGBS) additions and time delay on the bleeding of concrete. *Cem. Concr. Comp* 22 (4), 253 e 257. [http://dx.doi.org/10.1016/S0958-9465\(00\)00024-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0958-9465(00)00024-X).
12. Coelho, M.A.M., Silva, M.G., Souza, F.L.S.; Zandonade, E. 2002. Estudo da carbonatação e retração em concretos de alto desempenho com elevados teores de escória de alto forno. Instituto Brasileiro do Concreto - 44º Congresso Brasileiro.
13. Escalante-Garcia, J.I., Espinoza-Perez, L.J., Gorokhovskiy, A., Gomez-Zamorano, L.Y., 2009. Coarse blast furnace slag as a cementitious material, comparative study as a partial replacement of Portland cement and as an alkali activated cement. *Constr. Build. Mater.* 23, 2511 e 2517.
14. Han, F., Zhang, Z., Wang, D., Yan, P., 2015. Hydration heat evolution and kinetics of blended cement containing steel slag at different temperatures. *Thermochim. Acta* 605, 43–51. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.115>

15. Pan, S.Y., Adhikari, R., Chen, Y.H., Li, P., Chiang, P.C., 2016. Integrated and innovative steel slag utilization for iron reclamation, green material production and CO₂ fixation via accelerated carbonation. *J. Clean. Prod.* 137, 617–631.
16. Ilyushechkin, A.Y., Roberts, D.G., French, D., Harris, D.J., 2012. IGCC Solids Disposal and Utilisation, Final Report for ANLEC Project 5-0710-0065.
17. Reddy et al., 2006 - Utilization of Basic Oxygen Furnace (BOF) slag in the production of a hydraulic cement binder - *International Journal of Mineral Processing*. Volume 79, Issue 2, May 2006, Pages 98-105
- 18.
19. Masuero, A.B., Moura W.A., Dal Molin, D.C., Vilela, A.C., 2001. Utilização de escórias de aciaria elétrica e de cobre como adições para concretos. 43 Congresso Brasileiro do Concreto. Anais...
20. Yi J., Tung-Chai L., Caijun S., Shu-Yuan P., 2018. Characteristics of steel slags and their use in cement and concrete - A review.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.04.023>.
21. World Steel Association website, <https://www.worldsteel.org/about-steel.html>.
22. Muhmood L., Vitta S., Venkateswaran, D, 2008. Cementitious and pozzolanic behavior of electric arc furnace steel slags. *Cement and Controlled Research* 39 pages 132-139.
23. Tsakardies, P.E, Papadimitriou, G.P., Tsvivilis, S., Koroneos, C., 2007. Utilization of steel slag for Portland cement clinker production, Volume 132, Issue 2, pages 805-811
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.07.093>.
24. Qasrawi, H., Shalabi, F., Asi, I., 2008. Use of low CaO unprocessed steel slag in concrete as fine aggregate. *Construction and Building Materials* 23 pages 1118–1125.
25. San-José, J.T., Vegas, I., Arribas, I., Marcos, I., 2014. The performance of steel-making slag concretes in the hardened state. Volume 60, pages 612-619.
26. Geyer, R.T., Geyer, A., Vilela, A., Dal Molin, D., 1997. Possibilidades e fatores limitantes da reutilização de escórias de aciaria como substituição ao cimento Portland – uma análise da melhoria das propriedades do concreto. In: IV Congresso Ibero-americano de Patologia das Construções e VI Congresso de Controle da Qualidade. Anais... Porto Alegre, 21-24/10/97.
27. Geyer, R.T, Dal Molin, D., Mafaldo, I., Vilela, A., 1999. Adição de escórias de aciaria no concreto. 41 Congresso Brasileiro do Concreto. Anais...
28. Geyer, R.T, Geyer, A., Dal Molin, D., Vilela, A., 2001. Estudo sobre o uso das escórias de aciaria como adição ao concreto. 43 Congresso Brasileiro do Concreto. Anais...

29. PETRUCCI, E. G. R. Concreto de cimento Portland - 6ed. atualizada e revisada por Vladimir Antônio Paulon. Porto Alegre: Globo, 1978.
30. Iacobescu, R.I., Angelopoulos, G.N., Jones, P.T., Blanpain, B., Pontikes, Y., 2016. Ladle metallurgy stainless steel slag as a raw material in Ordinary Portland Cement production: a possibility for industrial symbiosis, Volume 112, parte 1, pages 872-881.
31. Aprianti, E., 2016. A huge number of artificial waste material can be supplementary cementations material (SCM) for concrete production e a review part II. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.115>

Delimitação amostral de agregados de construção e demolição

Sample design for Brazilian Construction and Demolition Waste

Waskow, R.P.¹
Gschwenter, V. L.²
Tubino, R.M.C.³

¹ Mestre, Régis Pereira Waskow, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, regisengambiental@gmail.com.

² Mestre, Viviane Lopes Gschwenter dos Santos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, vlsg@ufrgs.br.

³ Professora Doutora, Rejane Maria Candiota Tubino, Departamento de Metalurgia, rejane.tubino@ufrgs.br.

Resumo

Resíduos da Construção e Demolição (CDW) estão entre os mais gerados em vários países, resultando em uma preocupação com este tipo de resíduo. Vários estudos são realizados com o CDW, muitos deles com o objetivo de avaliar a realidade técnica, econômica, social e ambiental de uma região, cidade ou país. Para este fim, é importante aplicar métodos estatísticos que apresentem representatividade da amostra. O trabalho tem como objetivo identificar um conjunto de amostras representativas de RCD brasileiro, para estudos que visam sua aplicação com substituição do agregado natural pelo reciclado. Foi utilizado o projeto fatorial 2k em conjunto com a divisão de materiais de interesse em quartis. Três conjuntos de amostras foram definidos, fixando dois tipos de materiais, de acordo com o planejamento fatorial 2k, seguido da definição dos terceiros valores. Como resultado, foi possível identificar a aplicabilidade da união dos métodos estatísticos, o que resultou em 16 amostras. Os três conjuntos de amostras avaliadas puderam ser aplicados. No entanto, a determinação dos valores de argamassa e concreto, seguida da determinação dos valores da cerâmica foi a mais adequada.

Palavras-chave: Resíduos de Construção e Demolição; CDW; Agregados; Projeto de amostra; Projeto fatorial 2k.

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção gera grande quantidade de resíduos durante a construção e demolição de edifícios definidos, estes resíduos são classificados como resíduos de construção e demolição (RCD). Um uso efetivo e eficiente dos recursos naturais, bem como uma mitigação dos impactos ambientais induzidos por sua extração, poderiam ser alcançados se fossem implementadas políticas adequadas de gestão e reciclagem de materiais de construção e demolição⁽¹⁾. No entanto, para um aumento na sua reutilização, a melhoria da qualidade do agregado

reciclado se faz necessário, podendo ser atingido usando plantas de beneficiamento⁽²⁾.

A reutilização deste tipo de material é o foco de vários estudos, avaliando parâmetros técnicos^(3,4,5), parâmetros econômicos⁽⁶⁾ ou parâmetros ambientais^(7,8). Estes estudos necessitam de informações consistentes das características do RCD, mas esse tipo de resíduo tem uma composição muito diversificada, principalmente devido a sua origem, tipo, idade, estágio e parâmetros técnicos (resistência à compressão, etc ...)⁽²⁾.

A NBR 15.115⁽⁹⁾ classifica os agregados reciclados (AR) em concreto reciclado (ARC), um material com no mínimo 90% em massa de fragmentos cimentícios e rochas, e agregado reciclado misto (ARM), uma mistura de cerâmica, tijolos, blocos de concreto, argamassa, concreto e cimento. Devido às técnicas de construção, as práticas de gerenciamento de RCD em obra e as atuais tecnologias de reciclagem, a AR produzido no Brasil é classificado em sua maioria como ARM⁽¹⁰⁾.

A análise estatística não é apropriada quando métodos de amostragem não aleatórios são usados. Assim, a seleção e o uso de métodos estatísticos para definir o conjunto de amostras representativas são necessários. Uma amostra representativa permite que os resultados coletados sejam generalizados para a sua população.

O planejamento fatorial completo, que testa todas as combinações possíveis de fatores, é a técnica amplamente utilizada na maioria das pesquisas. Mas quando o número de fatores aumenta consideravelmente, um planejamento fatorial completo pode não ser aplicável⁽¹¹⁾. O fatorial completo é provavelmente a estratégia mais comum e intuitiva do design experimental. Na forma mais simples, o fatorial completo de dois níveis, existem k fatores e $L = 2$ níveis por fator. As amostras são dadas por todas as combinações possíveis dos valores dos fatores. Portanto, o tamanho da amostra é $N = 2k$ ⁽¹²⁾.

O processo experimental desta técnica consiste em realizar testes com cada uma das combinações da matriz experimental, para então determinar e interpretar os principais efeitos e interações dos efeitos investigados e, assim, ser capaz de identificar as melhores condições experimentais do produto ou processo de fabricação⁽¹³⁾. O fator a ser utilizado no planejamento fatorial $2k$ pode ser definido pelo uso de percentis (tercil, quartil, quintil ...), quanto maior o número do percentil, maior o número de amostras. Por exemplo, quartis são divisões de um determinado conjunto em 4 partes iguais.

Lovato et al⁽¹⁴⁾ usaram em seu estudo do uso de agregados de RCD o delineamento fatorial $2k$ reduzindo de 27 para 15 o número de amostras de sua experiência. Cabral et al⁽¹⁵⁾, também estudando o uso de agregados de RCD, relatam que o uso de delineamentos fracionários é muito útil, pois permite a otimização de tempo e custo ao apresentar um grande número de amostras, já que apenas uma fração do total é realizada.


Desta forma, o objetivo deste trabalho é definir o desenho amostral necessário para amostrar, de maneira mais representativa, as RCDs brasileiros (argamassa, cerâmica e concreto), sendo possível assim aplicar esta metodologia em estudos voltados para sua reutilização em substituição ao agregado natural. Para isso, foi utilizado o projeto fatorial $2k$ e a definição dos quartis de cada tipo de material a ser estudado.

2 METODOLOGIA

Primeiro foi necessário identificar a composição gravimétrica do RCD gerado no Brasil. Fontes de pesquisa foram consultadas, tais como: artigos, documentos públicos governamentais, teses, entre outros. Os dados de argamassa, concreto e cerâmica foram isolados e os demais materiais foram definidos como zero (Figura 1).

CIDADE	ARGAMASSA (%)	CONCRETO (%)	CERÂMICO (%)	OUTROS (%)
"x"	28	10	34	28

↓

CIDADE	ARGAMASSA (%)	CONCRETO (%)	CERÂMICO (%)	OUTROS (%)
"x"	28	10	34	

↓ *Valores redefinidos*

CIDADE	ARGAMASSA (%)	CONCRETO (%)	CERÂMICO (%)
"x"	39	14	47

Figura 1. Percentagem dos materiais que compõem o RCD.

Argamassa, Concreto e Cerâmica foram divididos em quatro grupos iguais, quatro quartis. O primeiro quartil (Q1) é definido como o número do meio entre o menor número e a mediana do conjunto de dados. O segundo quartil (Q2) é a mediana dos dados. O terceiro quartil (Q3) é o valor médio entre a mediana e o valor mais alto do conjunto de dados. Os quartis deste estudo foram classificados da seguinte forma: Classe Baixa, Classe Média Baixa, Classe Média Alta e Classe Alta (Tabela 1).

Tabela 1. Classes dos quartis aplicados neste estudo.

<25%	25%-50%	50%-75%	75%-100%
Baixa	Média Baixa	Média Alta	Alta

Q 1
Q 2
Q 3

Para realizar o delineamento amostral, utilizou-se o Projeto Fatorial 2k aplicando as 4 quebras entre quartis representando o fator k. Assim, o conjunto amostral (SS) deste estudo terá 16 amostras ($2^4 = 16$).

Três SS foram definidos. Cada SS tem a conexão entre todas as classificações de quartil (Classe Baixa, Classe Média Baixa, Classe Média Alta e Classe Alta). Essa conexão foi feita em dois tipos de material e o terceiro tipo de material foi definido por último, como pode ser visto na Tabela 2.

Tabela 2. Composição das amostras.

CONJUNTO AMOSTRAL 1			CONJUNTO AMOSTRAL 2			CONJUNTO AMOSTRAL 3		
Argamassa	Concreto	Cerâmico	Argamassa	Concreto	Cerâmico	Argamassa	Concreto	Cerâmico
Baixa	Baixa	Baixa	Baixa		Baixa	Baixa	Baixa	
Média Baixa	Baixa	Baixa	Média Baixa		Baixa	Média Baixa	Baixa	
Média Alta	Baixa	Baixa	Média Alta		Baixa	Média Alta	Baixa	
Alta	Baixa	Baixa	Alta		Baixa	Alta	Baixa	
Baixa	Média Baixa	Baixa	Baixa		Média Baixa	Baixa	Média Baixa	
Média Baixa	Média Baixa	Baixa	Média Baixa		Média Baixa	Média Baixa	Média Baixa	
Média Alta	Média Baixa	Baixa	Média Alta		Média Baixa	Média Alta	Média Baixa	
Alta	Média Baixa	Baixa	Alta		Média Baixa	Alta	Média Baixa	
Baixa	Média Alta	Baixa	Baixa		Média Alta	Baixa	Média Alta	
Média Baixa	Média Alta	Baixa	Média Baixa		Média Alta	Média Baixa	Média Alta	
Média Alta	Média Alta	Baixa	Média Alta		Média Alta	Média Alta	Média Alta	
Alta	Média Alta	Baixa	Alta		Média Alta	Alta	Média Alta	
Baixa	Alta	Baixa	Baixa		Alta	Baixa	Alta	

	Média Baixa	Alta	Média Baixa		Alta	Média Baixa	Alta	
	Média Alta	Alta	Média Alta		Alta	Média Alta	Alta	
	Alta	Alta	Alta		Alta	Alta	Alta	

As classificações devem ser substituídas pelo valor central entre os quartis de cada tipo de material. O terceiro material, sem classificação no conjunto de amostras, precisa ser definido para que a amostra atinja 100%. Ao final, o conjunto de amostras mais adequado será analisado para estudar os resíduos brasileiros de construção e demolição.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente são apresentadas as composição de vários RCDs a partir de uma seleção de documentos publicados disponíveis em várias fontes. Fontes como artigos, documentos públicos governamentais, teses, entre outros foram consultadas. Como pode ser visto no Apêndice A, a composição gravimétrica do CDW brasileiro pode variar.

A pesquisa tenta cobrir a maior parte do território brasileiro. No entanto, não foram encontrados estudos sobre algumas regiões. Como pode ser visto, mais de um estudo foi encontrado para algumas cidades. Estes dados demonstram a existência de variabilidade da composição do CDW mesmo na mesma cidade. Os dados também não apresentam homogeneidade considerando o período do estudo.

Os dados de argamassa, concreto e cerâmica foram isolados e os demais tipos de materiais foram definidos como zero. A Tabela 3 mostra novas porcentagens.

Tabela 3. RCD brasileiro considerando somente argamassa (AR), concreto (CO) e cerâmicos (CE).

CIDADE	AR	CO	CE	CIDADE	AR	CO	CE
Brazil*	64	4	32	Porto Alegre (RS)	41	28	31
Campina Grande (PB)	39	14	47	Recife (PE)	42	18	40
Campinas (SP)	47	27	27	Recife(PE)	35	5	59
Colina (SP)	66	31	4	Ribeirão Preto (SP)	46	26	28
Florianópolis (SC)	30	34	36	Ribeirão Preto (SP)	58	18	24
Fortaleza (CE)	32	23	45	Salvador (BA)	35	14	51
Fortaleza (CE)	61	23	17	São Carlos (SP)	74	6	20
Itatiba (SP)	37	14	49	São Carlos (SP)	12	28	60
Maceió (AL)	29	19	52	São Leopoldo (RS)	27	33	40
Novo Hamburgo (RS)	41	32	27	São Leopoldo (RS)	45	19	36
Novo Hamburgo (RS)	41	32	27	São Leopoldo (RS)	24	28	47
Olinda (PE)	26	37	37	São Paulo (SP)	37	12	51
Parnaíba (PI)	70	4	27	São Paulo (SP)	39	13	48
Passo Fundo (RS)	47	17	36	Uberlândia (MG)	26	46	29
Petrolina (PE)	28	17	55	Viçosa (MG)	37	32	31
Porto Alegre (RS)	41	22	37				

Considerando apenas valores de argamassa, concreto e cerâmica, é possível identificar seus limites de ocorrência na RCD brasileira. A argamassa está presente na composição do CDW de 12 a 74 por cento. O concreto tem valores que variam de 4 a 46% e cerâmico de 4% a 60%. Os valores de cada tipo de material foram

divididos em quartis, os quais foram classificados da seguinte forma: Classe Baixa, Classe Média Baixa, Classe Média Alta e Classe Alta (Figura 2).

ARGAMASSA			
QUARTIL 1	QUARTIL 2	QUARTIL 3	QUARTIL 4
Baixa	Média baixa	Média alta	Alta
25%	50%	75%	

CONCRETO			
QUARTIL 1	QUARTIL 2	QUARTIL 3	QUARTIL 4
Baixa	Média baixa	Média alta	Alta
25%	50%	75%	

CERÂMICO			
QUARTIL 1	QUARTIL 2	QUARTIL 3	QUARTIL 4
Baixa	Média baixa	Média alta	Alta
25%	50%	75%	

Figura 2. Classificação dos limites estabelecidos por cada quartil.

Para realizar o delineamento amostral, utilizou-se o Projeto Fatorial 2k aplicando as 4 faixas entre os quartis como o fator k. Assim, o conjunto amostral deste estudo terá 16 amostras ($2^4 = 16$). Como o CDW é principalmente composto por argamassa, concreto e cerâmica, a conexão entre todas as classificações de quantil (Classe Baixa, Classe Média Baixa, Classe Média Alta e Classe Alta) foi feita em dois tipos deste material e o terceiro, finalmente. Assim, três conjuntos de amostras estabelecidos:

- CA1: Definindo inicialmente as classes de cerâmica e concreto;
- CA2: Definindo inicialmente as classes de argamassa e cerâmica;
- CA3: Definindo inicialmente as classes de argamassa e concreto

A Tabela 4 apresenta os três conjuntos de amostras.

Tabela 4. Definição inicial das amostras por classe.

Nº	SS 1			SS 2			SS 3		
	AR	CO	CE	AR	CO	CE	AR	CO	CE
1		L	L	L		L	L	L	
2		LM	L	LM		L	LM	L	
3		UM	L	UM		L	UM	L	
4		U	L	U		L	U	L	
5		L	LM	L		LM	L	LM	
6		LM	LM	LM		LM	LM	LM	
7		UM	LM	UM		LM	UM	LM	
8		U	LM	U		LM	U	LM	
9		L	UM	L		UM	L	UM	
10		LM	UM	LM		UM	LM	UM	
11		UM	UM	UM		UM	UM	UM	
12		U	UM	U		UM	U	UM	
13		L	U	L		U	L	U	
14		LM	U	LM		U	LM	U	
15		UM	U	UM		U	UM	U	
16		U	U	U		U	U	U	

Posteriormente o valor central foi aplicado substituindo as classificações. No final, o último (terceiro) valor foi definido. O valor central entre os quartis de cada tipo de material pode ser visto na Tabela 5.

Tabela 5. Valor central de cada intervalo

MATERIAL	CLASSE			
	BAIXA	MEDIA BAIXA	MEDIA ALTA	ALTA
ARGAMASSA	21	34,5	43	60,5
CONCRETO	9	18	26,5	38,5
CERÂMICA	15,5	31,5	42	54

O terceiro valor precisa ser definido para que a amostra atinja 100%. Assim, as 16 amostras tiveram seus valores de argamassa, concreto e cerâmica definidos e os Conjuntos Amostrais (CA) puderam ser comparados. A Tabela 8 mostra os valores para os três conjuntos de amostras.

Tabela 6. Definição das amostras

AMOSTRAS	CA 1				CA 2				CA 3			
	AR	CO	CE	Σ	AR	CO	CE	Σ	AR	CO	CE	Σ
1	74	10,5	15,5	100%	29	45	26	100%	27	13	60	100%
2	66,5	18	15,5	100%	35	46	19	100%	34,5	9	56,5	100%
3	58	26,5	15,5	100%	43	41	16	100%	43	9	48	100%
4	46	38,5	15,5	100%	61	23	16	100%	60,5	9	30,5	100%
5	59,5	9	31,5	100%	22	46	32	100%	21	19	60	100%
6	50,5	18	31,5	100%	35	33	32	100%	34,5	18	47,5	100%
7	42	26,5	31,5	100%	43	25	32	100%	43	18	39	100%
8	30	38,5	31,5	100%	61	7	32	100%	60,5	18	21,5	100%
9	49	9	42	100%	21	37	42	100%	21	26,5	52,5	100%
10	40	18	42	100%	35	23	42	100%	34,5	26,5	39	100%
11	31,5	26,5	42	100%	43	15	42	100%	43	26,5	30,5	100%
12	19,5	38,5	42	100%	55	4	41	100%	60,5	26,5	13	100%
13	37	9	54	100%	21	25	54	100%	21	38,5	40,5	100%
14	28	18	54	100%	35	11	54	100%	34,5	38,5	27	100%
15	19,5	26,5	54	100%	43	4	53	100%	43	38,5	18,5	100%
16	7,5	38,5	54	100%	47,5	4	48,5	100%	60,5	35,5	4	100%

Inicialmente, as classificações foram substituídas por CV, no entanto, o terceiro valor que deve ser definido precisa atender ao valor máximo e mínimo de cada material. Assim, às vezes, os dois primeiros valores precisavam ser ajustados, não usando o CV, mas ainda observando a faixa de classe. Por exemplo, a amostra 1 CA3 argamassa e concreto usa 27 e 13, respectivamente. Estes valores atendem às suas classes (Classe Baixa), mas precisaram ser alterados porque neste caso a cerâmica deve ser definido pelo seu valor máximo (60%). Outras amostras foram alteradas: no CA1 apenas um valor difere do valor central (concreto, amostra 1); no CA2, apenas três valores não foram alterados (amostras 9, 11 e 13); e no CA3 três valores foram alterados (dois valores na amostra 1 e um valor na amostra 5).

3.1 Comparação dos Conjuntos Amostrais (CA)

Em seguida, o conjunto de amostras mais adequado será analisado para estudar o CDW brasileiro. Para isso serão comparados os três conjuntos de

amostras previamente definidos. A distribuição das frações de cada tipo de material que compõem os conjuntos de amostras é apresentada na Figura 3a (CA1), Figura 3b (CA2) e Figura 3c (CA3).

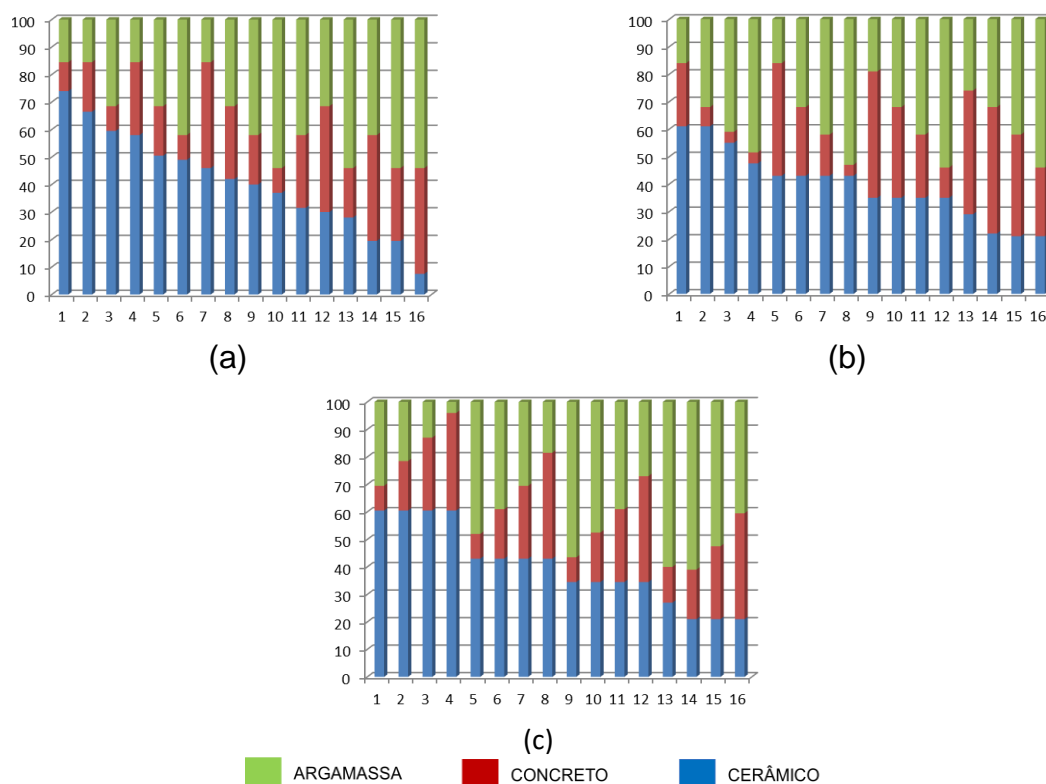


Figura 3. Distribuição dos valores CA1

É possível identificar nos gráficos a homogeneidade entre os conjuntos de amostras, assim, nos três casos todo o intervalo de valores de cada material é coberto. Os resultados mostram que cada conjunto de amostras tem mais extensão para o terceiro material a ser definido. No CA1 mais extensa está presente para Argamassa (de 7,5 a 74), em CA2 é Concreto (de 4 para 46) e no CA3 é Cerâmico (de 4 para 61) como pode ser na Fig 3c.

A distribuição dos valores de cada tipo de material classificado em ordem decrescente é mostrada abaixo. Como pode ser visto na Figura 4a, a argamassa cobre uma extensão maior de valores em CA1. Os valores de SS 2 e SS 3 são distribuídos de forma semelhante.

Na Figura 4b, o concreto cobre uma extensão maior de valores em CA2. Os valores de CA1 e CA3 são distribuídos de forma semelhante. Na Figura 4c, a cerâmica cobre uma extensão maior de valores em CA3. Os valores de CA1 e CA2 são distribuídos de maneira semelhante.

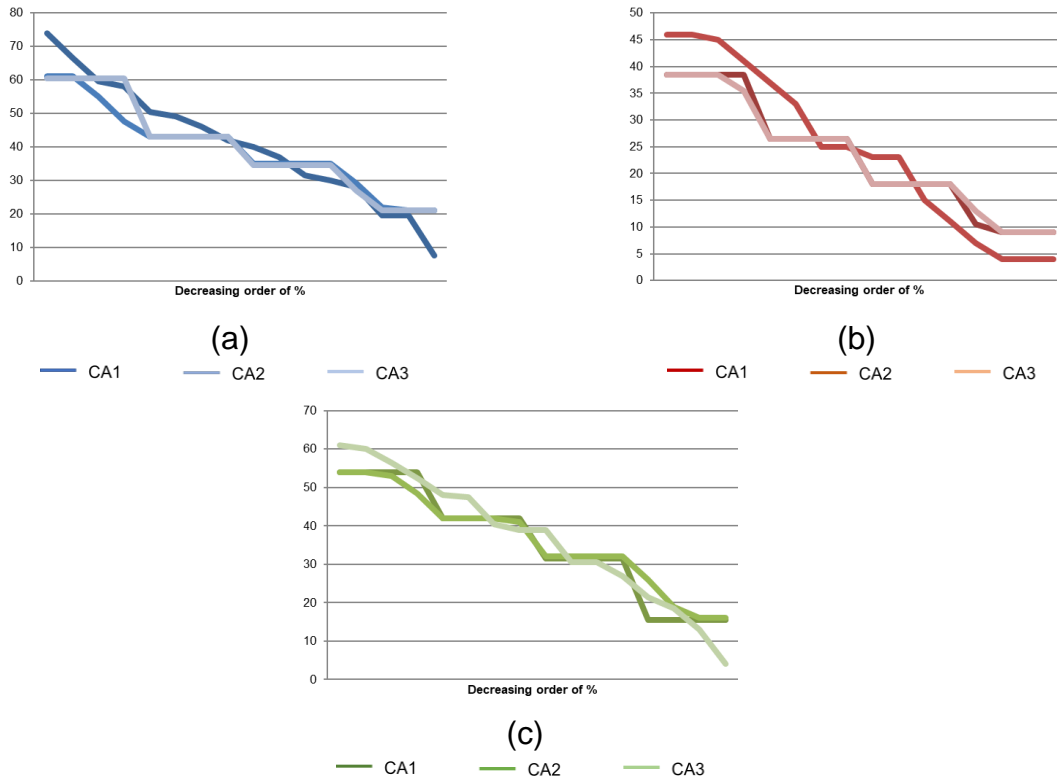


Figura 4. Comparação entre a distribuição dos valores de SS de argamassa, concreto e cerâmica.

Outra avaliação dos três conjuntos de amostras ocorreu comparando os valores de média e variância da quantidade de dados utilizados distribuídos entre as classes (Classe Baixa, Classe Média Baixa, Classe Média Alta e Classe Alta). A Fig 5 e a Tabela 5 mostram uma síntese dos resultados para cada classe nos 3 conjuntos de amostras.

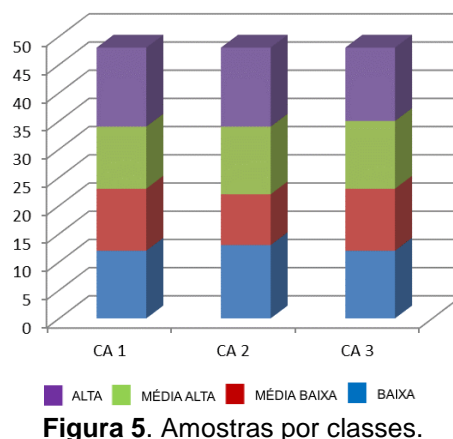


Figura 5. Amostras por classes.

A Figura 5 reitera a existência de homogeneidade entre o intervalo de valores de cada material em todos os conjuntos de amostras. Visualmente, não é fácil identificar grandes diferenças entre cada conjunto de amostras. A Tabela 7 apresenta a análise da variância dos dados aplicados na definição de cada conjunto amostral.

Tabela 7. Qualificação de cada classe com as amostras.

CLASSE	CA1	CA2	CA3
Baixa	12	13	12
Média Baixa	11	9	11
Média Alta	11	12	12
Alta	14	14	13
TOTAL	48	48	48
Média	12	12	12
Variância	2,00	4,67	0,67

Como pode ser visto na Tabela 7, o CA3 mostra menor variação entre os valores, 0,67, enquanto o CA1 tem 2,00 e o CA2 tem a maior variação, 4,67.

4 CONCLUSÕES

O conjunto de amostras CA3 pode ser considerado o mais representativo e adequado para o estudo da RCD brasileiro em substituição ao agregado natural, uma vez que apenas 3 valores na definição de cada amostra do conjunto foram alterados em relação ao valor central (VC). Além disso, apresentou a maior homogeneidade na distribuição dos valores entre as classes (Baixo, Baixo, Alto e Alto).

O conjunto de amostras CA2 resultou em maior alteração nos valores das amostras (9 valores) e maior heterogeneidade entre as classes. Considera-se que este resultado está ligado ao fato de que o terceiro material a ter seus valores definidos nas amostras (Concreto) possui a menor extensão de sua fração (4 a 46).

Conclui-se que o CA1 é mais adequado para estudos cujo foco principal é resíduos de argamassa, pois o CA2 é mais adequado para estudos de resíduos de concreto e o CA3 é mais adequado para estudos de resíduos cerâmicos.

Considera-se que a divisão em quartis e a metodologia usando o esquema fatorial 2k foi satisfatória, e a CA3 é recomendada para estudos brasileiros de RCD. No entanto, é possível aplicar qualquer um dos três conjuntos de amostras, dada a pequena diferença entre os resultados.

REFERÊNCIAS

- 1 Vieira, C.S.; Pereira, P.M., 2015. Use of recycled construction and demolition materials in geotechnical applications: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 103, 192 – 204.
- 2 Pacheco-Torgal, F.; Tam, V. W. Y.; Labrincha, J. A.; Ding, Y.; Brito, J. de., 2013. *Handbook of recycled concrete and demolition waste*. Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering: Number 47.
- 3 Cazacliu, B.; Sampaio, C. H.; Miltzarek, G.; Petter, C.; Le Guen, L.; Paranhos, et. al., 2014. The potential of using air jigging to sort recycled aggregates. *Journal of Cleaner Production*, 66, 46 – 53.
- 4 Ambrós, W. M.; Cazacliu, B. G.; Sampaio, C. H., 2008. Wall effects on particle separation in air jigs. *Powder Technology*. 301, 369–378.
- 5 Sampaio, C. H.; Cazacliu, B. G.; Miltzarek, G. L.; Huchet, F.; leGuen, L.; Petter, C. O. et. al. M.; Oliveira, M. L. S., 2016. Stratification in airjigs of

- concrete/brick/gypsum particles. *Construction and Building Materials*. 109, 63–72.
- 6 Neto, R. O.; Gastineau, P.; Cazacliu, B. G.; Le Guen, L.; Paranhos, R. S.; Petter, C. O., 2016. An economic analysis of the processing technologies in CDW recycling platforms. *Waste Management*, no prelo.
 - 7 Coelho, A.; Brito, J., 2013a. Environmental analysis of a construction and demolition waste recycling plant in Portugal – Part I: Energy consumption and CO₂ emissions. *Waste Management*. 33, 1258–1267.
 - 8 Coelho, A.; Brito, J., 2013b. Environmental analysis of a construction and demolition waste recycling plant in Portugal – Part II: Environmental sensitivity analysis. *Waste Management*. 33, 147–161.
 - 9 ABNT (Brazilian Association of Technical Standards), 2004. NBR 15.115: Recycled Aggregates of Construction and Demolition Wastes e Construction of Pavement Layers - Procedures. Brazilian Association of Technical Standards Press, Rio de Janeiro, Brazil (in Portuguese).
 - 10 Rosado, L.P.; Vitale, P.; Penteado, C.S.G.; Arena, U., 2017. Life cycle assessment of natural and mixed recycled aggregate production in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 151, 634 – 642.
 - 11 Mozdgir, A.; Mahdavi, I.; Badeleh, I. S.; Solimanpur, M., 2013. Using the Taguchi method to optimize the differential evolution algorithm parameters for minimizing the workload smoothness index in simple assembly line balancing. *Mathematical and Computer Modelling*, 57, 137-151.
 - 12 Cavazzuti, M. 2013. *Optimization Methods: From Theory to Design*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
 - 13 Galdamez, E.V.C., 2002. Application design of experimental in the injection molding process. São Carlos. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 133 p
 - 14 Lovato, P. S.; Possan, E.; Dal Molin, D.C.C.; Masuero, A. B.; Ribeiro, J.L.D., 2012. Modeling of mechanical properties and durability of recycled aggregate concretes. *Construction and Building Materials*. 26, 437–447.
 - 15 Cabral, E.A.; Schalch, V.; Dal Molin, D.; Ribeiro, L., 2010. Mechanical properties modeling of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 24, 421–430.
 - 16 Pinto, T. P.; Agopyan, V., 1994. Construction Wastes as Raw Material for Low-cost Construction Products. In: International Conference CIB TG16, 1, Gainesville.
 - 17 Nóbrega, A. R. S., 2002. Contribuição ao Diagnóstico da Geração de Entulho da Construção Civil no Município de Campina Grande, PB. Campina Grande-PB: Universidade Federal de Campina Grande.
 - 18 Zordan, S. E. A., 1997. Utilização de Entulho como Agregado, na Confecção de Concreto. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil. Universidade de Campinas, Campinas – SP.
 - 19 Machione, E. C., 2010. Caracterização dos Resíduos de Construção e Demolição Gerados no Município de Colina/SP e uma Proposta de Gerenciamento e Disposição Adequada. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 124 p.
 - 20 Xavier, L. L., 2001. Diagnóstico do Resíduo da Construção Civil na cidade de Florianópolis/SC. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós Graduação em Eng. Civil – UFSC. Florianópolis, SC.

- 21 Lima, A. S.; Cabral, A. E. B., 2013. Caracterização e classificação dos resíduos de construção civil da cidade de Fortaleza (CE). Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, 18, 169-176.
- 22 Oliveira, M. E. D.; Sales, R. J. M.; Oliveira, L. A. S.; Cabral, A. E. B., 2011. Diagnóstico da geração e da composição dos RCD de Fortaleza/CE. Engenharia Sanitária e Ambiental, 16, 219-224.
- 23 John, V. M.; Agopyan, V., 2000. Reciclagem de resíduos da construção. In: Seminário de Resíduos Sólidos, 1. São Paulo. Anais... São Paulo: CETESB.
- 24 Vieira, G. L., 2003. Estudo do processo de corrosão sob a ação de íons cloreto em concretos obtidos a partir de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Porto Alegre.
- 25 Lovato, P. S., 2007. Verificação dos parâmetros de controle de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição para utilização em concreto. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Porto Alegre, RS.
- 26 Kazmierczak, C. S.; Kulakowski, M. P.; Boito, D.; Garcia, A. C. A., 2006. Estudo Comparativo da Geração de Resíduos de Construção e Demolição em São Leopoldo e Novo Hamburgo-RS. In: XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. Florianópolis – SP.
- 27 Falcão, N. C. B.; Farias, A. B.; Sukar, S. F.; Gusmão, A. D., 2012. Diagnóstico da Gestão de Resíduos da Construção Civil no Município de Olinda/PE – Estudo de Caso. In: Encontro Técnico Nacional de Auditoria de Obras Públicas – ENAOP.
- 28 Feijão Neto, F. G., 2010. Deposições Irregulares de resíduo da Construção Civil na Cidade de Parnaíba -PI. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus Rio Claro. Rio Claro -SP.
- 29 Bernardes, A.; Thomé, A.; Prietto, P. D. M.; Abreu, Á. G., 2008. Quantificação e classificação dos resíduos da construção e demolição coletados no município de Passo Fundo, RS. Revista Ambiente Construído.3, 65-76.
- 30 Santos, A. N., 2008. Diagnóstico da Situação dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD) no Município de Petrolina (PI). Dissertação (Mestrado) – Universidade Católica do Pernambuco, Recife – PE.
- 31 Leite, M.B., 2001. Avaliação de Propriedades Mecânicas de Concretos Produzidos com Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Porto Alegre, RS.
- 32 Scott Hood, R. S., 2006. Análise da viabilidade técnica da utilização de resíduos de construção e demolição como agregado miúdo reciclado na confecção de blocos de concreto para pavimentação. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Porto Alegre.
- 33 Souza, P.C.M.; Carneiro, F.P.; Monteiro E.C.B. Barkokébas JR., B.; Gusmão, A.D.G. Análise sobre a gestão dos resíduos sólidos de construção e demolição na região metropolitana do Recife. In: Geo-jovem – Congresso de Jovens Geotécnicos. São Carlos, 2004.
- 34 Macedo, T. F.; Lafayette K. P. V., 2009. Reaproveitamento e Caracterização de RCD para Reforço de Solo com Adição de Fibras. Associação Brasileira de Mecânica do Solo e Engenharia Geotécnica.
- 35 Latterza, L. M., 1998. Concreto com agregado graúdo proveniente da reciclagem de resíduos de construção e demolição: um novo material para fabricação de

- painéis leves de vedação. São Carlos. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.116 p.
- 36 Malta, J. O.; Silva, V. S.; Gonçalves, J. P., 2013.Argamassa Contendo Agregado Miúdo Reciclado de Resíduo de Construção e Demolição. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA),1, 176–188.
- 37 Pinto, T. P., 1986.Utilização de Resíduos de Construção. Estudo de Uso em Argamassas. Dissertação (Mestrado_ Departamento de Arquitetura e Planejamento. Universidade de São Carlos, São Carlos – SP.
- 38 Marques Neto, J. C., 2003.Diagnóstico para estudo de gestão dos resíduos de construção e demolição do município de São Carlos-SP. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- 39 Brito, J.A., 1999. Cidade versus entulho. In: Seminário de Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil, 2., São Paulo, 1999.São Paulo, Comitê Técnico CT206 Meio Ambiente (IBRACON), 56-67.
- 40 IPT/CEMPRE., 2000.Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado. 2 ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 370p.
- 41 Moraes, G. M. D., 2006.Diagnóstico da deposição clandestina de resíduos de construção e demolição em bairros periféricos de Uberlândia: Subsídios para uma gestão sustentável. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana)-Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Federal de Uberlândia.
- 42 Buselli, A. A. P. T., 2012. Proposta de Gestão dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD) no Município de Viçosa, MG. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG.

APENDICE A

Composição gravimétrica dos RCD no Brasil (%)

CIDADE	AR	CO	CE	OUTROS	ANO	FONTE
Brazil*	64	4,3	31,6	0,1	1994	(16)
Campina Grande (PB)	28	10	34	28	2002	(17)
Campinas (SP)	37	21	21	21	1997	(18)
Colina (SP)	34,3	16	2	47,7	2009	(19)
Florianópolis (SC)	17,25	19,14	20,73	42,88	2001	(20)
Fortaleza (CE)	22	15,6	31,1	31,3	2013	(21)
Fortaleza (CE)	37,7	14	10,3	38	2009	(22)
Itatiba (SP)	35	13	47	5	2000	(23)
Maceió (AL)	28	19	51	2	2003	(24)
Novo Hamburgo (RS)	34,9	27,3	23,4	14,4	2007	(25)
Novo Hamburgo (RS)	34,2	26,8	22,9	16,1	2006	(26)
Olinda (PE)	23	32	32	13	2012	(27)
Parnaíba (PI)	52,43	2,64	20,18	24,75	2010	(28)
Passo Fundo (RS)	37,4	13,8	28,8	20	2008	(29)
Petrolina (PE)	23,6	14,1	45,5	16,8	2008	(30)
Porto Alegre (RS)	28,26	15,18	26,33	30,23	2001	(31)
Porto Alegre (RS)	38,43	26,58	29,13	5,86	2006	(32)

Recife (PE)	27	12	26	35	2004	(33)
Recife(PE)	26	4	44	26	2009	(34)
Ribeirão Preto (SP)	37,4	21,1	23,3	18,2	1997	(18)
Ribeirão Preto (SP)	46,2	14,6	19,1	20,1	1998	(35)
Salvador (BA)	34	13	49	4	2012	(36)
São Carlos (SP)	63,67	4,88	17,98	13,47	1986	(37)
São Carlos (SP)	8	19	40	33	2003	(38)
São Leopoldo (RS)	22,5	26,9	33,2	17,4	2007	(25)
São Leopoldo (RS)	44,2	18,3	35,7	1,8	2007	(25)
São Leopoldo (RS)	22	26	43,4	8,6	2006	(26)
São Paulo (SP)	24	8	33	35	1999	(39)
São Paulo (SP)	24	8	30	38	2000	(40)
Uberlândia (MG)	22	38,7	24,3	15	2006	(41)
Viçosa (MG)	18,01	15,29	14,79	51,91	2009	(42)

*Local non available; MO: Mortar;

DESENVOLVIMENTO DE UM PLANO DE LUBRIFICAÇÃO

De Barba Jr, D.J.¹
Lamb, G. A. ²
Bork. C.A..³

¹ Doutor, Durval João De Barba Junior, IFSul, debarbajr@sapucaia.ifsul.edu.br.

² Engenheiro, Guilherme Artur Lamb, IFSUL, guilhermelamb@gmail.com

³ Doutor, Carlos Alberto Schuch Bork, IFSul, sbork@sapucaia.ifsul.edu.br.

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

Resumo

Entre as várias práticas que são realizadas para a prevenção de falhas, a lubrificação vem ganhando cada vez mais importância, pois se for realizada de maneira errônea pode acarretar em diversas falhas de componentes de máquinas, além de ter uma maior chance de ocorrerem vazamentos e consumo excessivo de lubrificantes. O objetivo deste artigo foi desenvolver um plano de lubrificação de uma planta de produção de um determinado produto. Para isso, foi necessário um estudo profundo sobre lubrificação, reuniões com os mantenedores, verificações junto aos manuais dos equipamentos e de antigos planos de manutenção, conferência *in loco* de todos os pontos de lubrificação envolvidos e um fluxograma com ações para a lubrificação. Como resultado, ocorreu um aumento de aproximadamente 230% na quantidade de pontos de lubrificação, garantindo um atendimento mais abrangente para toda a fábrica estudada.

Palavras-chave: Manutenção. Lubrificação. Plano de lubrificação. Lubrificantes.

DESENVOLVIMENTO DE UM PLANO DE LUBRIFICAÇÃO

Abstract

Among the various practices that are performed for the prevention of failures, lubrication is gaining more and more importance, because if it is performed in an erroneous way can lead to several failures of machine components, in addition to having a greater chance of leaks and excessive lubrication consumption. The purpose of this article was to develop a lubrication plan for a production plant for a particular product. In order to do this, an in-depth study on lubrication, meetings with maintainers, checks with equipment manuals and old maintenance plans, on-site conference of all lubrication points involved and a flow chart with actions for lubrication were necessary. As a result, there was an increase of approximately 230% in the number of lubrication points, ensuring a more comprehensive service for the entire factory studied.

Key words: Maintenance. Lubrication. Lubrication plan. Lubricants.

1 INTRODUÇÃO

Com o avanço da necessidade de maior produtividade, a manutenção dentro das empresas tem sido cada vez mais reconhecida, deixando de ser somente uma

fonte de custos, para se tornar um excelente campo de implementação de melhorias que visam reduzir estes custos. A manutenção, quando bem executada, garante a confiabilidade e a eficiência dos equipamentos, aumentando o tempo que os mesmo estão aptos à produzir e à garantir a qualidade do produto⁽¹⁾.

A manutenção representa uma grande parcela dentro dos custos de uma empresa que, segundo o Documento Nacional da Manutenção de 2013 da ABRAMAN, a manutenção corresponde com 4,69% pelo faturamento bruto.⁽²⁾

A lubrificação de equipamentos é uma das atividades que estão englobadas dentro da manutenção. Embora muitas vezes vista como uma tarefa "menos importante", a lubrificação é de extrema relevância pois, se efetuada de maneira incorreta, pode gerar quebras prematuras dos equipamentos e seus componentes. A falta de conhecimento, ou quando este não é difundido entre os mantenedores, acarreta na má execução da lubrificação e, assim, diminuindo indicadores importantes da manutenção como o TMEF (Tempo Médio Entre Falhas) e TMPF (Tempo Médio Para a Falha) e, conseqüentemente, diminuindo a confiabilidade do equipamento⁽²⁾.

A falta de um plano de lubrificação estruturado, de acordo com a necessidade de cada equipamento e que possa ser controlado, é um dos problemas descobertos pela empresa em análise. Não existe um controle adequado sobre qual o tipo de lubrificante é utilizado para cada ponto de lubrificação, a exata quantidade e a periodicidade em que a lubrificação deve ser realizada.

Visando a solução dos problemas levantados, dentro deste trabalho foi proposto o desenvolvimento de planos de lubrificação que sejam adequados às necessidades apresentadas pela planta de produção, possibilitando uma manutenção preventiva mais adequada e sustentável à empresa.

Equipamentos mecânicos geralmente necessitam estar em contato com outros componentes para executar a sua função planejada. Uma vez que o atrito e o desgaste derivam do contato entres as superfícies dos componentes, é necessária, a utilização de um método para minimizar as perdas de energia e material provenientes do atrito e do desgaste. Uma forma adequada de reduzir estes danos é com o uso da lubrificação⁽³⁾⁽⁴⁾.

A lubrificação fundamenta-se na interposição de uma fina camada de lubrificante entre duas superfícies, diminuindo o atrito entre elas. Além de diminuir o desgaste devido ao atrito, a correta lubrificação dos componentes mecânicos também contribui para: o controle de temperatura (dissipando o calor gerado pelo atrito entre as superfícies), proteção contra corrosão (formando uma fina película que protege a superfície dos agentes de corrosão), amortecimento de choques (transferindo a energia mecânica para energia fluida), redução de vibrações e ruídos (impedindo o contato direto entre as superfícies), remoção de contaminantes (evitando a formação de borras, lascas e vernizes) e também vedação (prevenindo a entrada de partículas estranhas)⁽³⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾.

Outro fator importante sobre a lubrificação é a redução de custos que esta acarreta. Quando executada de forma concisa, pode-se obter uma redução de até 30% nos custos em manutenções. Isto ocorre porque cerca de 43% dos rolamentos quebram devido aos problemas de lubrificação, além de 39% dos redutores apresentarem problemas devido à falta ou excesso de lubrificação⁽³⁾.

Apesar de não ser um efeito direto para a parada de um equipamento, a lubrificação atua como causa em diversas falhas de componentes mecânicos, que

levam a paradas de equipamentos e, muitas vezes, à manutenções corretivas, gerando altos custos para o setor de manutenção. Por estes motivos, é de grande importância para a empresa a existência de um plano de lubrificação conciso, que leve a diminuição de falhas e custos pela correta lubrificação de equipamentos⁽⁴⁾⁽⁷⁾.

Os planos de lubrificação fazem parte da manutenção preventiva, que são uma forma de centralizar toda a informação referente à lubrificação de uma fábrica de uma maneira concisa e de fácil entendimento para o mantenedor. Um programa de lubrificação completo abrange todas as fases da lubrificação de uma fábrica, desde a seleção do tipo de lubrificante a índices de quantidade e periodicidade⁽⁷⁾.

Quando corretamente elaborados, os planos de lubrificação são uma forma de diminuir a parada de equipamentos e também diminuir os custos da manutenção pelas falhas ocorridas por falta de lubrificação. Algumas das economias providas pela efetividade de um plano de lubrificação são: redução do consumo de energia, pelo menor índice de atrito; redução do consumo de lubrificantes; menor taxa de falhas de equipamentos e aumento da vida útil do equipamento⁽⁶⁾.

Um plano de lubrificação elaborado de forma precária e com incerteza nas informações pode levar a problemas como identificação errada do tipo de lubrificante, lubrificação deficiente, lubrificação excessiva, intervalos de lubrificação incorretos⁽⁶⁾.

Um dos pontos iniciais para a estruturação de um plano de lubrificação é a correta seleção do tipo de lubrificante. Para aplicações onde o uso de óleo é requerido, o principal fator a ser decidido é a viscosidade do óleo, e para a escolha desta devem ser observados os seguintes pontos⁽³⁾⁽⁵⁾⁽⁸⁾:

Velocidade: quanto maior for a velocidade do sistema, menor deve ser a viscosidade do óleo, para que este tenha uma maior facilidade para a formação da película lubrificante;

Carga: um óleo com maior viscosidade resiste melhor às cargas que são aplicadas sobre ele, por isto, quanto maior a carga do sistema, maior deverá ser a viscosidade do óleo, para que este evite o rompimento da película lubrificante;

Temperatura: é de fundamental importância saber a temperatura de trabalho do sistema, pois a viscosidade do óleo é diretamente influenciada por ela. Todos os tipos de óleos ao serem aquecidos se tornam mais fluidos, diminuindo a viscosidade. O correto para a escolha do óleo é que ocorra sempre um equilíbrio entre os fatores velocidade, carga e temperatura, sendo a temperatura o mais importante, pois é a que exerce maior influência na viscosidade do óleo.

Para a seleção do correto tipo de graxa é importante conhecer características como⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾:

Ponto de gota: é o ponto onde se inicia a mudança de fase da graxa, de um estado pastoso para um estado líquido. Normalmente a faixa de trabalho do equipamento ao qual a graxa será aplicada deve ser de 20 a 30°C abaixo do ponto de gota;

Consistência: também denominado como "penetração", a consistência de uma graxa é uma medida de rigidez e seu valor é determinado pelo NLGI (*National Lubricating Grease Institute*);

Resistência à água: dependendo do tipo de aplicação, a graxa pode ser submetida à presença de água, e este pode se dissolver ou não. As graxas a base de cálcio e lítio não se dissolvem na água, ao contrário das com base de sódio;

Resistência ao trabalho: as graxas devem conservar sua consistência original quando postas em trabalho. Estas não devem escoar para fora do ponto a lubrificar após terem sido trabalhadas por algum período de tempo;

Temperatura: apesar de a temperatura ter uma influência significativamente menor nas graxas do que nos óleos, é de comum senso saber a temperatura do sistema em que a graxa será aplicada, para poder adequar o correto tipo de graxa.

A etapa seguinte para a elaboração de um plano de lubrificação é a determinação da quantidade de lubrificante e periodicidade de “relubrificação” necessários. Esta etapa é a mais complicada, pois depende de muitos fatores, como: velocidade, temperatura, carga, nível de contaminação, tipo de sistema de lubrificação e ponto de aplicação da lubrificação⁽⁸⁾.

Sistemas que utilizam lubrificação por óleo, como redutores de engrenagens, geralmente apresentam visores, onde é possível verificar a quantidade de óleo necessário. Para a periodicidade de “relubrificação”, é importante seguir o descrito pelo manual do fabricante do equipamento, pois este tempo leva em consideração os critérios anteriormente descritos⁽³⁾⁽⁸⁾.

Para sistemas que utilizam graxa como lubrificante, geralmente rolamentos, é possível fazer um estimativa da quantidade e periodicidade de lubrificação. Caso seja a primeira lubrificação do rolamento, a quantidade de graxa não deve ser inferior a 1/3 nem superior a 2/3 do volume do rolamento⁽³⁾⁽⁵⁾⁽⁸⁾.

Após a primeira lubrificação, a quantidade de graxa a ser repostada pode ser estimada pela Equação 1⁽³⁾⁽⁵⁾⁽⁸⁾:

$$G = 0,005 \times (D \times B) \quad (1)$$

onde G é tido como a quantidade de graxa (gramas), D o diâmetro externo de rolamento (milímetros) e B a largura do rolamento (milímetros)⁽³⁾⁽⁵⁾⁽⁸⁾.

Para condições normais de temperatura de operação (entre 60°C a 70°C) a periodicidade de lubrificação pode ser estimada pelo uso do gráfico mostrado na Figura 1, que leva em consideração o diâmetro interno do rolamento (milímetros), a velocidade de rotação (rpm) e o tipo de rolamento (F_a , F_b e F_c), sendo que: F_a consiste em rolamentos radiais de esferas; F_b rolamentos de rolos cilíndricos, rolamentos de agulha; e F_c rolamentos de rolos autocompensadores, rolamentos de rolos cônicos, rolamentos axiais de esferas, rolamentos de rolos cilíndricos sem gaiolas ($0,2F_c$) e rolamentos axiais de rolos cilíndricos ($0,5F_c$)⁽³⁾.

Além das etapas citadas, é importante para a elaboração de um bom plano de lubrificação que informações como a identificação dos equipamentos e o levantamento dos pontos de lubrificação de cada equipamento sejam feitas de maneira precisa. Isto é fundamental para que haja clareza na hora de realizar a lubrificação, indicando em cada equipamento, o ponto a ser lubrificado, com correto tipo de lubrificante, a quantidade de lubrificante necessário e a periodicidade de “relubrificação”⁽⁷⁾.

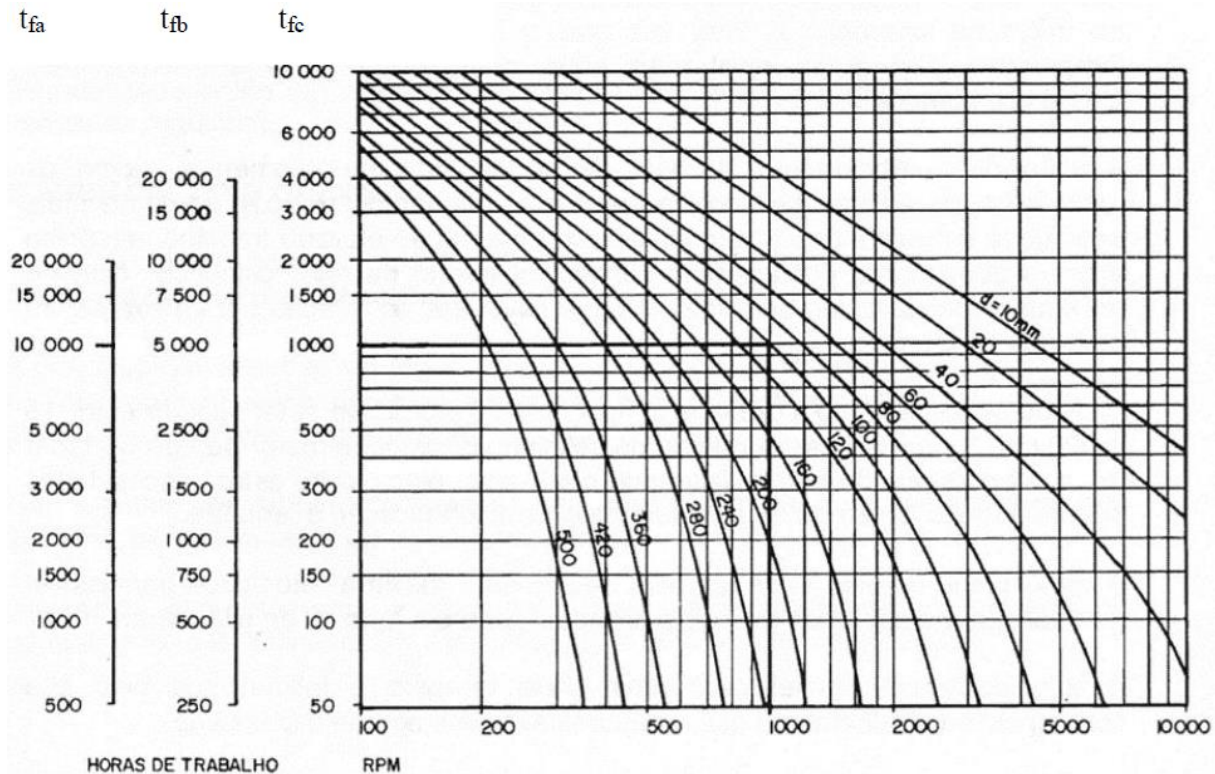


Figura 1 - Tempo de “relubrificação”⁽³⁾.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Dividiu-se em seis etapas o processo de elaboração do plano de lubrificação, facilitando o processo, pois estas se apresentam de forma subsequente, dependendo da anterior para poder prosseguir com o trabalho.

O primeiro passo foi a realização da revisão da literatura, em sua maioria, por meio de artigos científicos, livros e, principalmente, manuais de equipamentos, para obter conhecimentos sobre o processo de lubrificação.

Após, realizaram-se reuniões com os mantenedores, onde foram levantadas questões que deveriam ser respondidas pelo plano de lubrificação, que foram:

- Qual o correto equipamento a ser lubrificado?
- Qual o ponto a ser lubrificado?
- Qual tipo de lubrificante utilizar?
- Quanto de lubrificante utilizar?
- Qual o tipo de atividade a ser realizada?
- Qual a periodicidade da lubrificação?
- Qual a condição de máquina?

Baseado nestas questões citadas, desenvolveu-se um formulário (aqui denominado de "planilha de lubrificação") padrão, no qual pudesse conter as respostas para essas questões.

Este formulário foi desenvolvido em Excel e buscou trazer de forma prática e visual as informações levantadas (Figura 2).

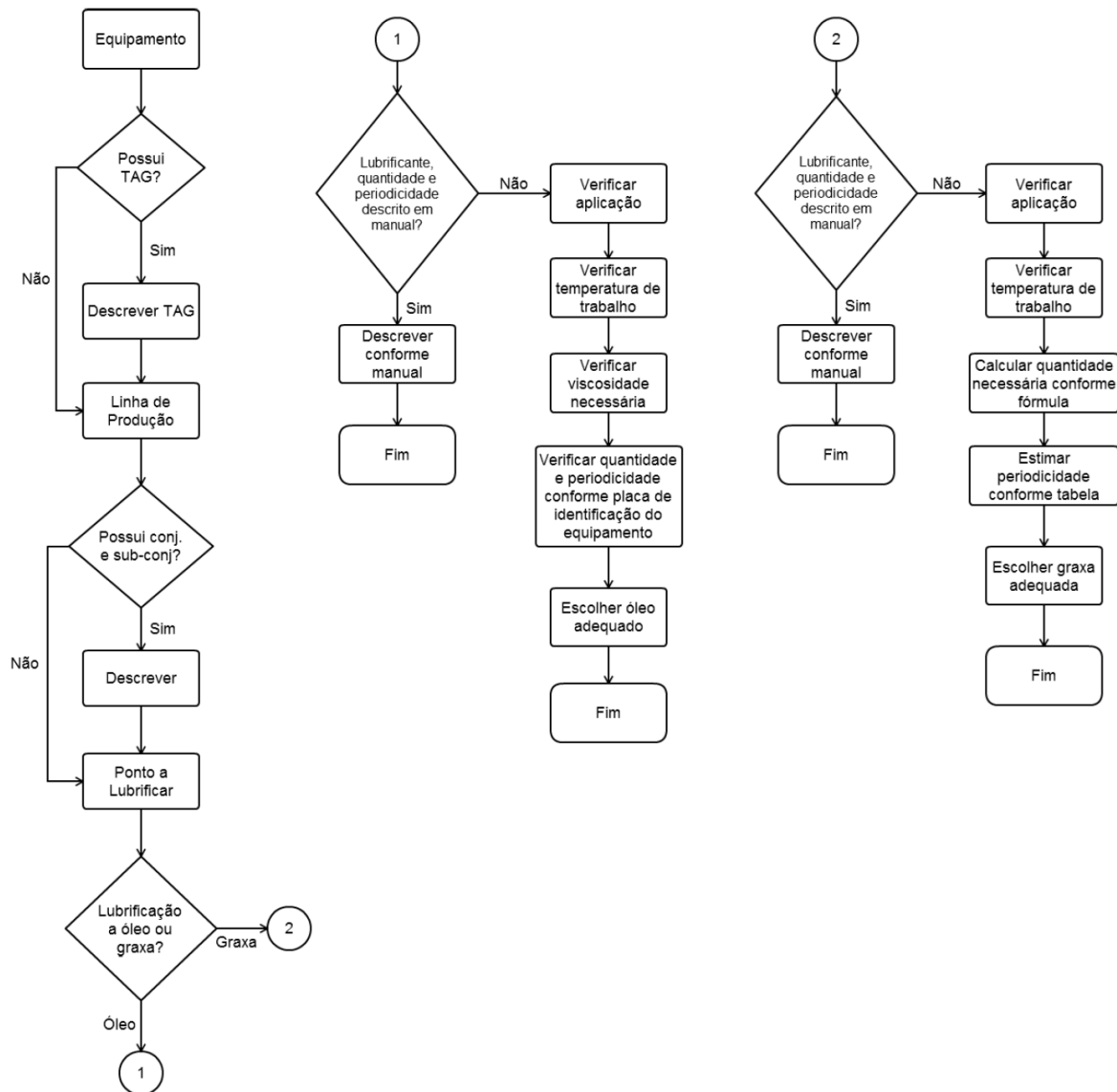


Figura 3 - Fluxograma de lubrificação.

O fluxograma foi organizado de uma forma para que pudesse se seguir a sequência mais lógica e intuitiva no processo de alocação das informações, considerando também a sequência que os dados estão dispostos na planilha de lubrificação.

Por meio da pesquisa de lubrificação e com o auxílio do fluxograma, as planilhas de lubrificação foram preenchidas. Para que uma planilha pudesse conter mais de um ponto a ser lubrificado, deveria obedecer alguns critérios, como: mesma linha de produção, mesma periodicidade de lubrificação e mesma condição de máquina (parada ou operando). Com isso, conseguiu-se reduzir o número de planos que seriam criados e também maximizar o tempo para a execução das tarefas.

Após as informações estarem dispostas nos planos, os mesmos foram inseridos no sistema ERP (*Enterprise Resource Planning* - Planejamento dos Recursos da Empresa). Este tipo de sistema permite coletar, processar, armazenar e distribuir dados, assim auxiliando na tomada de decisões e no controle da empresa. Desta forma, com os planos dispostos no sistema foi possível realizar o devido

planejamento da execução, além de poder ter um controle sobre os planos, criando-se assim, indicadores que avaliassem as atividades executadas⁽¹⁰⁾.

2.1 Análise das Planilha de Lubrificação

As planilhas de lubrificação apresentam-se concisas e, de forma rápida, prática e visual, transmitem as informações que são mais relevantes ao técnico de manutenção que irá realizar a tarefa de lubrificação. Elas são divididas, primeiramente, pela linha em que se encontram, e, posteriormente pela periodicidade e condição de máquina. As planilhas de lubrificação possuem numeração e um código para que possam ser rastreadas. Contam com informações de quantidade de mão de obra e também um tempo estimado para a realização da tarefa, assim como um campo para que possa ser feito o controle das revisões.

Para a execução da atividade, primeiramente é gerada uma ordem de manutenção, do tipo lubrificação, automaticamente pelo sistema ERP, ao qual é anexada à planilha de lubrificação correspondente. As ordens são elaboradas de acordo com a periodicidade destas. Essa ordem é, então, entregue ao técnico de manutenção, para que ele possa realizá-la. Ao final da atividade o técnico deve finalizar a ordem de manutenção, dando baixa no sistema.

A página frontal da planilha de lubrificação (Figura 2) contém os dados que são necessários para o mantenedor localizar fácil e corretamente o equipamento, além de conter a exata descrição do ponto a ser lubrificado. Por conter campos destacados por cores, o técnico pode visualizar rapidamente a condição que a máquina deve estar e, também, qual tipo de atividade ele vai realizar. O plano também mostra qual tipo de lubrificante e a quantidade em que o mesmo deve ser utilizado, para que dúvidas deste tipo não ocorram, não sendo utilizado um lubrificante com especificações impróprias para a atividade e, também, para que não ocorram problemas relacionados ao excesso ou falta de lubrificação. Outro ponto importante, abordado pela planilha, é a informação da periodicidade de lubrificação, fazendo com que esta seja exata e o ponto não acabe sendo lubrificado precocemente, ocasionando sobrecarga do sistema e aumento de pressão interna, o que acarretaria vazamentos, ou para que o mesmo não acabe sendo lubrificado em um período muito espaçado, produzindo maior atrito e subsequentes falhas no equipamento⁽³⁾⁽⁴⁾.

O verso da planilha de lubrificação mostra a foto dos pontos a serem lubrificados ou inspecionados (dependendo da atividade a ser realizada). A intenção de utilizar fotos dos pontos de lubrificação é para facilitar a identificação dos mesmos e também para que não existam dúvidas na execução da tarefa. Os pontos foram destacados para que possam ser referenciados na página frontal da planilha. Além disso, o verso da planilha conta com um campo para que possam ser feitas anotações pelos técnicos de manutenção, para possíveis observações e/ou melhorias, fazendo com que, ao finalizar a ordem de lubrificação, essas informações sejam passadas adiante para dar continuidade a revisão das planilhas de lubrificação.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 4 apresenta uma comparação entre o número de planilhas e pontos de lubrificação contidos no antigo plano de lubrificação e no plano novo desenvolvido neste trabalho.

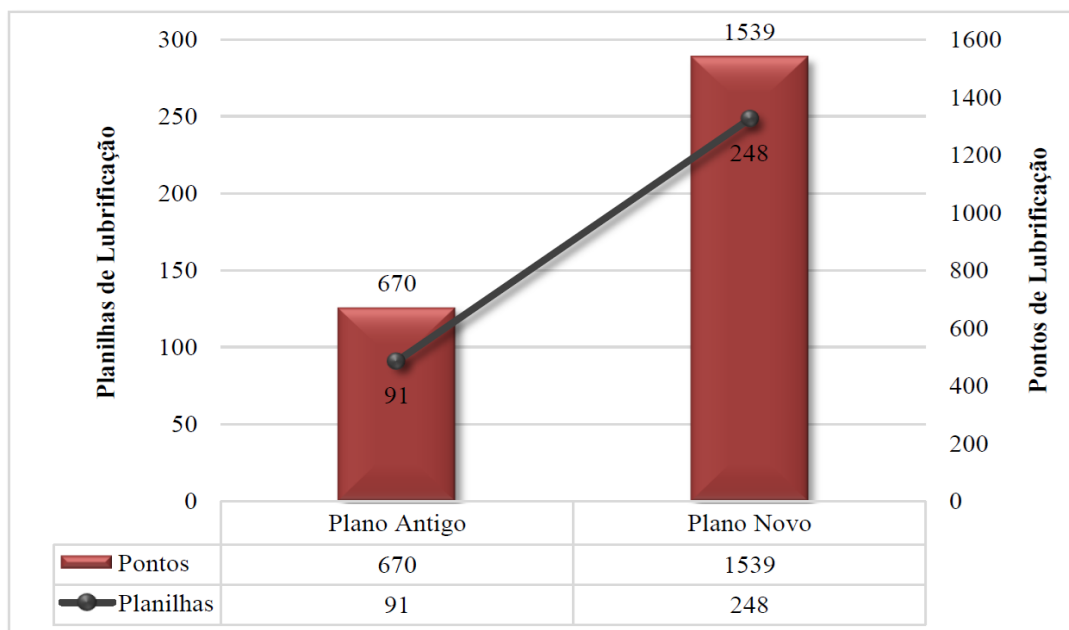


Figura 4 - Evolução das Planilhas de Lubrificação.

Como pode ser observado na Figura 4, após a realização da nova pesquisa de lubrificação da planta, foram levantados mais pontos de lubrificação do que constava no antigo plano de lubrificação da empresa, saindo de um total de 670 para 1.539 pontos, tendo um expressivo aumento de 229,7%. Este aumento na quantidade de pontos também ocasionou uma elevação no número total de planilhas, passando de 91 para 248 planilhas de lubrificação.

O fato de existir uma diferença, entre o plano antigo e o atual, é que o plano antigo não possuía uma abrangência tão grande, deixando alguns setores da empresa fora do plano, fazendo com que alguns equipamentos tivessem sua lubrificação defasada. O aumento do número de pontos a serem lubrificados, também levou ao aumento do total de horas que seriam necessárias para realizar as atividades descritas nos espelhos de lubrificação de 168 para 612 horas.

Vale salientar que na prática este número é muito maior, devido à reincidência das planilhas que possuem uma periodicidade de lubrificação menor, por exemplo, existem ordens que são geradas semanalmente, quinzenalmente etc.

A Figura 5 traz o levantamento das ordens de manutenção (do tipo lubrificação) que foram geradas de janeiro a maio de 2016 e 2017. É possível notar o aumento de 2017 em relação a 2016, saindo de uma média de 54 para 88 ordens de lubrificação por mês. É interessante notar que, apesar do aumento do número de ordens, os dois anos possuem uma variação semelhante. Isto pode estar relacionado ao fato de o mês de fevereiro possuir uma duração menor e também ter um feriado extenso, ocasionando com que menos ordens fossem geradas neste período.

Era esperado que, devido ao aumento do número de ordens, o tempo gasto mensalmente para lubrificação também seria maior. Com uma média mensal de 133 horas em 2016 e 164 horas em 2017, os dois anos ainda possuem uma variação semelhante. Este aumento nas horas gastas em lubrificação faz com que os técnicos em manutenção estejam em maior tempo em contato direto com a máquina, fazendo com que possam observar precocemente possíveis falhas nos componentes dos equipamentos, garantindo assim um TMEF maior e consequentemente maior disponibilidade da máquina.

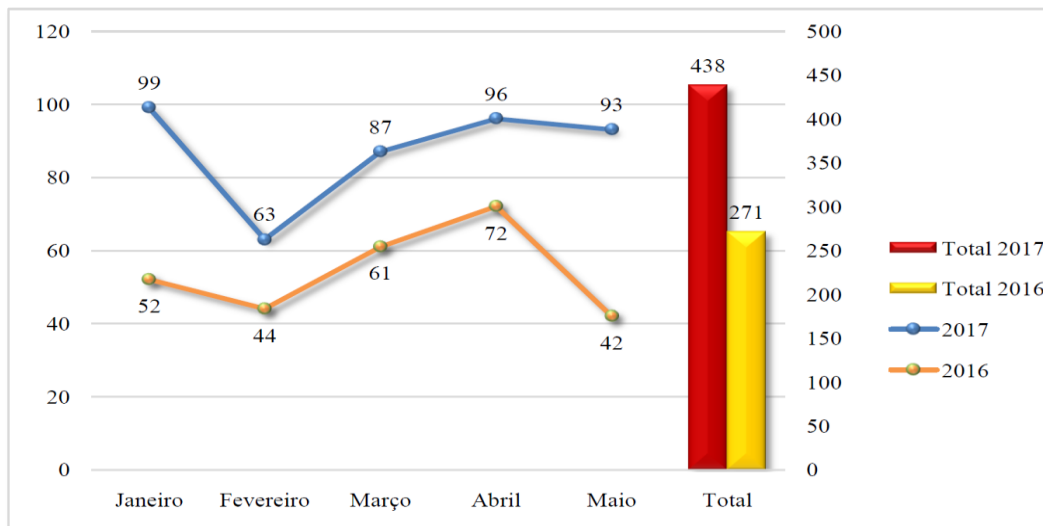


Figura 5 - Comparação de ordens de lubrificação entre 2016 e 2017

A Figura 6 apresenta o percentual de cumprimento entre as ordens de manutenção que foram programas vs. as ordem que foram efetivamente realizadas e executado o devido encerramento no sistema ERP.

Os dados dispostos na Figura 6 são de grande importância para a avaliação do novo plano de lubrificação. Este tipo de acompanhamento é importante para poder monitorar a efetividade do plano, sendo possível descobrir quais ordens deixaram de ser realizadas e, assim, poder reprogramá-las. Nesta comparação era esperado que apresentasse um comportamento desse tipo, ou até mesmo inferior. Isto ocorreu, principalmente, pelo plano de lubrificação ser uma cultura nova a ser implementada na empresa, levando-se algum tempo para que a mesma seja adotada por todos os técnicos, considerando que a lubrificação era anteriormente uma tarefa exclusiva de um técnico em lubrificação e agora, sendo realizada por todos os técnicos de manutenção mecânica. A variação do gráfico também está relacionada ao fato de que nos meses de janeiro e março foi realizada uma cobrança maior do cumprimento das ordens de lubrificação por parte da gerência.

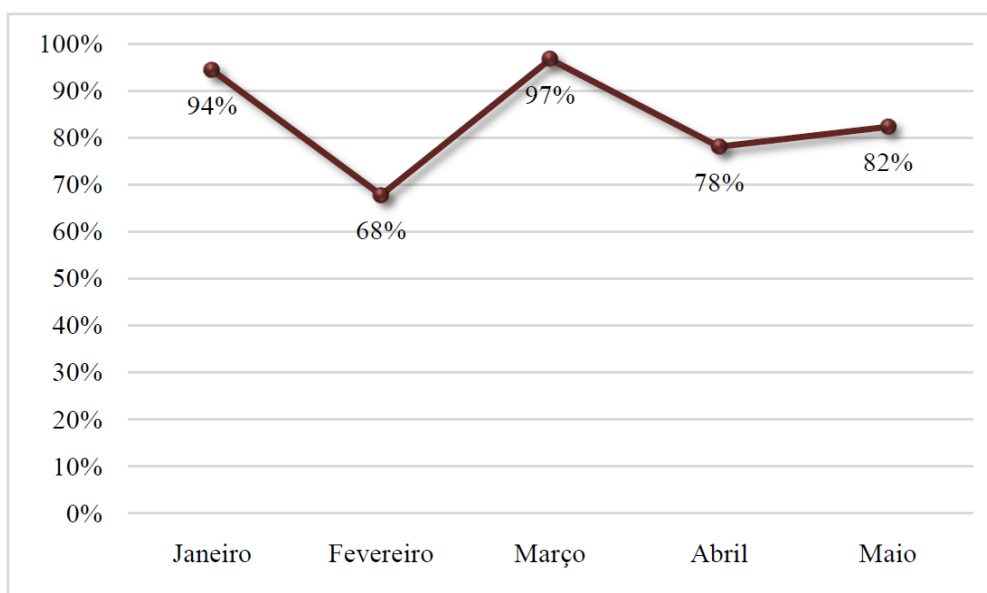


Figura 6 - Cumprimento de ordens de lubrificação.

4 CONCLUSÃO

Dado o objetivo principal, o desenvolvimento de um plano de lubrificação que fosse adequado as necessidade da planta de produção de filme plano, pode-se afirmar que este foi alcançado ao longo do trabalho.

Com a realização da nova pesquisa de lubrificação da planta, foi possível realizar o levantamento de 1.539 pontos de lubrificação, apresentando um aumento de 229,7% em relação ao antigo sistema adotado pela fábrica. Esse acréscimo do número de pontos gerou um maior número de planilhas de lubrificação e, conseqüentemente, um maior número de ordens geradas e horas dedicadas à lubrificação mensalmente. Este novo plano de lubrificação elevou de 133 para 164 horas voltadas para a lubrificação mensalmente. É esperado que, com o passar do tempo, esta nova cultura esteja mais difundida entre os técnicos de manutenção e que a taxa de realização das planilhas de lubrificação se mantenha alta, mesmo sem uma cobrança maior por parte da gerência.

Além dos pontos já citados, o plano de lubrificação garante um atendimento mais abrangente para toda a fábrica, fazendo com que todos os setores e linhas de produção sejam atendidos. Outra característica é o fato de que as planilhas de lubrificação podem receber um *feedback* direto dos técnicos, devido ao campo específico localizado no verso dessa planilha. Isso faz com que os planos possam estar sempre evoluindo e melhorando, se adequando mais as necessidades e mudanças na fábrica.

REFERÊNCIAS

- 1 OLIVEIRA, J. C.; SILVA, A. Análise de Indicadores de Qualidade e Produtividade da Manutenção nas Indústrias Brasileiras. GEPROS, Gestão da Produção, Operações e Sistemas. p. 53–69, 2013.
- 2 Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos (ABRAMAN). A situação damanutenção no Brasil. Documento nacional 2013. Salvador, 2013.
- 3 UNOTECH. Lubrificação Industrial. 1 a Edição. Unotech, 2012.
- 4 JACOBS, G.; PLOGMANN, M. Tribology. 6 a Edição. Aachen: Druck & Verlagshaus Mainz, 2015.
- 5 CST - SENAI. Mecânica - Lubrificação. SENAI - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, 1997.
- 6 MILLAR, R. Planned Lubrication. Industrial Lubrication and Tribology, v. 19, p. 179–185, 1967.
- 7 CLAPP, A. M.; WILCOX, F. B. Plant Lubrication. Proceedings of the Seventh Texas A&MUniversity Turbomachinery Symposium, 1978.
- 8 MOBIL. Princípios Básicos da Lubrificação. 1 a Edição. São Paulo: Mobil Oil do Brasil, 1979.
- 9 SKF. Noções Básicas dos Dados Técnicos de Graxas. Disponível em: <<http://www.skf.com>>. Acesso em: MAR. 2017.
- 10 LAUDON, K.; LAUDON, J. Sistemas de Informações Gerenciais. 9 a Edição. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

DESIGN FOR ASSEMBLY (DFA) E DESIGN FOR DISASSEMBLY (DFD) APLICADOS NO PROJETO DE MOLDES DE INJEÇÃO DE TERMOPLÁSTICOS

De Barba Jr, D. J.¹
Corrêa, C. M.²
Cardoso, D. C.³
Bork, C. A. S.⁴

- ¹ Doutor, Durval João De Barba Junior, IFSul, debarbajr@sapucaia.ifsul.edu.br.
² Engenheira, Cristina Meireles Corrêa, IFSul
³ Engenheiro, Deividi Cristiano Cardoso, IFSul
⁴ Doutor, Carlos Alberto Schuch Bork, IFSul, carlosbork@gmail.com.

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

Resumo

As metodologias de *Design for Assembly* (DfA) e *Design for Disassembly* (DfD) são aplicadas em diversos processos de produção com o objetivo de criar um projeto que facilite a montagem, desmontagem e separação de componentes. Este trabalho busca aplicar as técnicas de DfA e DfD em um molde de injeção a fim de reduzir e padronizar alguns de seus componentes, para evitar erros de montagem e facilitar a desmontagem para manutenção. Para isso utilizou-se de um molde de injeção padrão onde todos seus componentes foram analisados e alguns reprojitados, quando necessário, para adequar-se à metodologia de DfA e DfD. Como resultado final, avaliando o novo projeto do molde feito, é possível identificar que o mesmo apresenta maior facilidade de montagem e desmontagem, e que estas operações apresentam menores riscos de erro.

Palavras-chave: Design for Assembly; Design for Disassembly; Montagem; Desmontagem; Moldes de Injeção.

DESIGN FOR ASSEMBLY (DFA) E DESIGN FOR DISASSEMBLY (DFD) APLICADOS NO PROJETO DE MOLDES DE INJEÇÃO DE TERMOPLÁSTICOS

Abstract

Design for Assembly (DfA) and Design for Disassembly (DfD) methodologies are applied in a variety of production processes to create a design that facilitates assembly, disassembly and separation of components.

This article aims to apply DfA and DfD techniques in an injection mold in order to reduce and standardize some of its components, to avoid assembly errors and to facilitate disassembly for maintenance. For this, a standard injection mold was used where all its components were analyzed and some redesigned, when necessary, to fit the methodology of DfA and DfD. As a final result, evaluating the new design of the mold made, it is possible to identify that it is easier to assembly and disassembly, and that these operations present less risk of error.

Key words: Design for Assembly; Design for Disassembly; Assembly; Disassembly; Injection molds.

1 INTRODUÇÃO

O objetivo das mais diversas áreas da indústria é obter mais lucro. Um dos caminhos para atingir este objetivo é a redução de custos. Os métodos de *Design for Assembly* (DfA) e *Design for Disassembly* (DfD) visam aperfeiçoar a montagem e desmontagem dos mais diversos produtos com o intuito de reduzir o número de peças, otimizar as operações, diminuir o tempo de produção e, desta forma, os custos. Esta pesquisa busca aplicar os métodos de DfA e DfD em moldes de injeção de termoplásticos uma vez que, atualmente, não existe um padrão a ser seguido durante o projeto desse tipo de ferramental que seja voltado à otimização da sua desmontagem e da sua montagem⁽¹⁾.

Portanto, o objetivo deste trabalho é utilizar os métodos DfA e DfD em um projeto de molde de injeção para facilitar as montagens e desmontagens necessárias para manutenções preventivas ou corretivas, proporcionando um menor tempo para a execução destas tarefas e, também, para reduzir a quantidade de componentes.

É possível se obter melhorias no processo de desenvolvimento de produtos com uma filosofia de projeto orientado para a montagem (DfA). Além disso, existem estudos direcionados para a redução do número de peças e facilitação da desmontagem para adequar os produtos a uma realidade mais sustentável. Em alguns trabalhos voltados ao *Ecodesign* aparecem sugestões de que os projetos podem ser adaptados de maneira a reduzir a quantidade de materiais e de elementos de fixação utilizados, facilitando a desmontagem e separação ao final da vida útil do produto⁽²⁾⁽³⁾.

Os métodos de *Design for Assembly* e *Design for Disassembly* são atualmente utilizados em diversas áreas da engenharia, principalmente em linhas de montagem de indústrias, com o objetivo de minimizar custos e falhas. Os moldes de injeção de termoplásticos inevitavelmente necessitam passar por intervenções de manutenção, e, atualmente, são projetados sem uma padronização que facilite a montagem e desmontagem dessas ferramentas.

1.1 DfA – *Design for Assembly*

A técnica DfA tem por objetivo facilitar a montagem, reduzir o número de peças e diminuir o tempo de montagem. Uma análise é realizada no produto onde os componentes constituintes são separados por função, forma, material e tipo de montagem, desenvolvendo-se, assim, um produto mais simples e funcional do que a sua versão original⁽⁴⁾.

O Projeto para montagem, ou como é conhecido *Design for Assembly* (DfA), tem o objetivo principal de reduzir o número de componentes que formam um determinado produto, simplificando a estrutura do produto a partir de um projeto inicial, de modo que no final, o conjunto dos componentes remanescentes estejam estruturados para uma fácil montagem e mantendo todas as funcionalidades especificadas⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾.

O DfA é uma forma de embasamento científico que age como uma filosofia, um processo e uma ferramenta da arte de se projetar⁽⁸⁾.

Geralmente, são encontradas implantações do método para produções em série, porém o uso dessa ferramenta é ainda mais importante quando existe um baixo volume de produção, pois desta forma aplica-se a filosofia de “fazer certo da primeira vez”⁽⁹⁾.

A implantação do método DfA é uma importante fonte de vantagem competitiva

para muitas organizações no mundo porque possibilita a criação de projetos de produtos menos complicados, com um número reduzido de peças e de fácil montagem, sem deixar de atender às expectativas do cliente⁽¹⁰⁾.

O DfA, como filosofia, irá consistir na forma de se analisar o produto, desde sua etapa conceitual, a fim de diminuir seus custos e facilitar a sua montagem, tendo em vista a melhoria contínua de seu projeto. Do ponto de vista de processo, procura criticar, a todo instante, as soluções utilizadas na tentativa de constante diminuição e simplificação das montagens, analisando, assim, a arquitetura do produto, a quantidade de componentes, a relação entre eles, os métodos de segurança e o processo de montagem. E por fim, como uma ferramenta, sendo capaz de recolher informações do número total de peças, dificuldades de manipulação e inserção, e tempos de processo, ajudando o projetista a perceber e analisar o efeito de cada peça no conjunto do produto final⁽⁸⁾.

A utilização da metodologia DfA leva os projetistas na direção de um produto de arquitetura simplificada com o menor número de peças, de modo que a união seja a mais eficiente, e por fim, melhorando a qualidade. Além disso, pode-se citar uma série de outras vantagens, como: simplificação do processo de montagem; redução das operações de manipulação; possibilidade de maior padronização e modularização dos produtos; menor número de passos e ajustes (*set-ups*) de processamento; menor quantidade de pontos/superfícies de encaixe; redução de problemas de tolerância (*stack-up*); possibilidade de fazer estimativas do custo de montagem e, posteriormente; estimar o custo dos componentes; e fornecimento de um procedimento sistemático para analisar um projeto pelo ponto de vista da montagem⁽⁸⁾.

Levando em conta os resultados adquiridos pela experiência na aplicação do DfA, algumas orientações gerais em forma de regras simples devem ser seguidas pelo projetista, com o objetivo de consolidar conhecimentos de fabricação, desse modo, o processo de montagem manual pode ser dividido em duas áreas distintas. Uma, refere-se ao manuseio (aquisição, orientação e movimentação de peças), e a outra, à inserção e fixação (interface entre peças ou em um conjunto)⁽¹¹⁾⁽¹²⁾.

1.1.1 Orientação para Manuseio de Componentes

O DfA visa garantir uma padronização de operações e de mecanismos, transformando o processo fácil e rápido, como: facilitar o posicionamento e o alinhamento durante a montagem; utilizar o número mínimo de componentes; projetar componentes para serem multifuncionais; utilizar componentes e processos padronizados; e eliminar ajustes⁽²⁾.

Os princípios gerais dessa técnica são: utilização de o menor número de peças para reduzir o número de montagens; padronização dos elementos de fixação; e redução das dificuldades de orientação das peças (fazendo uso de simetrias e assimetrias de componentes)⁽²⁾.

As condições geométricas das peças são capazes de facilitar, ou não, o manuseio dos componentes. Durante a fase inicial do projeto devem ser considerados alguns princípios, conforme os mencionados a seguir⁽¹¹⁾⁽¹²⁾:

a) **Simetria:** projetar peças que tenham o máximo possível de simetria em toda extensão e, também, simetria rotacional sobre o eixo de inserção.

b) **Assimetria:** projetar peças que sejam claramente assimétricas, quando for impossível projetá-las com simetria. Esta orientação tem o objetivo de tornar fácil para

o montador identificar a não simetria.

c) **Acomodação** entre as peças: fornecer elementos que impeçam o emperramento de peças que tendem a formar pilhas quando armazenadas em grande quantidade.

d) **Embarçamento**: evitar elementos que permitam emaranhamento de peças quando armazenadas em grandes quantidades

e) **Adesão por contato de superfície**: evitar peças que, quando juntas, se unam sem necessidade ou que sejam escorregadias, flexíveis, muito pequenas ou muito grandes, ou que sejam perigosas para quem está manuseando (peças pontiagudas ou que lasquem com facilidade etc.)

f) **Outras situações**: sempre que possível, evitar projetar peças escorregadias, delicadas, flexíveis, muito pequenas ou muito grandes, ou que possam oferecer perigo no manuseio.

1.1.2 Orientações para Inserções e Fixações

A equipe de projeto deve ser incentivada a buscar as melhores tecnologias de materiais e de processos disponíveis, para conquistar soluções mais adequadas aos produtos. Reduzir o número de componentes, excluindo elementos não essenciais, principalmente os de fixação (parafusos, rebites etc.) é fundamental para a otimização do projeto⁽¹⁰⁾.

A montagem de um conjunto planejado de peças depende de movimentos das operações repetitivas de posicionar e unir um ou mais elementos. Para facilitar a inserção de peças o projetista deve verificar os seguintes requisitos⁽¹¹⁾⁽¹²⁾:

a) **Força de montagem**: projetar de maneira que exista baixa ou nenhuma resistência à inserção, favorecendo chanfros ou guias para encaixe entre as duas peças. Usar uma folga maior entre as peças pode tornar a montagem mais fácil, devendo cuidar, nestes casos, para que este aumento não venha a gerar o travamento entre as peças durante a montagem, em virtude do desalinhamento dos seus eixos. Um comprimento maior ajuda a impedir o desalinhamento entre eixos. Furos passantes ou rebaixos podem ser utilizados como recursos para auxiliar a saída de ar dos alojamentos ou eixos, principalmente onde existir um conjunto de peças com pouca folga. Desta forma, esses elementos tem o encaixe facilitado requerendo uma menor força de montagem. No encaixe de eixos com rebaixos (ou outros corpos cilíndricos, ou não) em alojamentos, também com rebaixos, usar o corpo menor como guia para o corpo maior. Favorecer para que peças com rebaixos longos sejam localizadas automaticamente no eixo de furos com a utilização de chanfros, para evitar operações futuras de localização e alinhamentos.

b) **Sequência de montagem**: projetar o conjunto de componentes e a montagem deste, de forma que sejam a prova de erro (*mystake-proof* ou *poka-yoke*), deve-se utilizar elementos que favoreçam a utilização de uma sequência de montagem, tais como uma pirâmide com um eixo imaginário de referência que permita montagens por cima, facilitando a centralização dos componentes e evitando montagens cegas.

c) **Operações adicionais de montagem**: projetar de maneira que não seja necessário segurar ou manter posicionada manualmente uma ou mais peças para que sirvam de guia ou encaixe de outro componente ou subconjunto. Quando não existirem outras possibilidades, adicionar detalhes no produto para que este tipo de operação ocorra de maneira automática. Para isso, adicionar no *design* do produto, elementos para encaixe e centralização temporários.

d) **Pré-posicionamento**: projetar a peça de forma que possua um direcionamento

orientado minimizando ao máximo as restrições do projeto que possam fazer a peça precisar ser solta antes de estar posicionada dentro da montagem. É importante incluir detalhes que assegurem a trajetória correta e com a repetibilidade necessária para a montagem.

e) **Elementos de fixação:** a escolha dos elementos deve considerar a aplicação, custo, acesso à montagem e desmontagem, força de união e acabamento requerido ao produto.

Algumas orientações para serem consideradas para a orientação técnica de projetos: projetar de maneira que as operações de montagem não fiquem inacessíveis, evitar ajustes e usar os princípios da cinemática no projeto, analisar a montagem e considerar a quantidade mínima de pontos de restrição, apenas para eliminar graus de liberdade dos elementos permitindo o travamento do conjunto. Quando existem situações com uma superrestrição de movimentos, esta tende a dificultar a montagem por exigir uma precisão excessiva, além de ocasionar um maior custo de manufatura e montagem⁽¹¹⁾⁽¹²⁾⁽¹³⁾.

1.2 DfD - *Design for Disassembly*

A desmontagem dos produtos pode acontecer para possibilitar a manutenção, favorecer a instalação inicial, o reparo e a modificação em campo, ou em uso, e aumentar a valorização dos componentes e materiais no fim da sua vida útil com o reuso, remanufatura e reciclagem. Desta forma, o DfD é a condição exigida para que os produtos possam ser economicamente recicláveis.

O termo "desmontagem" pode ter significados diferentes, pois em algumas situações é necessária para substituir um determinado componente e isso pode ser realizado retirando cuidadosamente os encaixes, removendo as peças e colocando-os em locais acessíveis para posterior remontagem. Em outros casos, a desmontagem pode ser necessária para reciclar o produto e pode ser realizada por etapas que evitam danos nos componentes ou forçadamente separados resultando em quebra⁽⁹⁾.

Existem dois métodos básicos de desmontagem: a montagem reversa que é planejada e possui uma sequência determinada e o método de força bruta que geralmente ocorre sem planejamento. Esse ainda é um grande desafio para as engenharias, principalmente devido à própria sequência de desmontagem ser um problema crítico. Normalmente é difícil para os projetistas terem acesso a todas as informações necessárias, entre elas, futuras modificações incorporadas pelos usuários e o desgaste provocado pelo uso dos componentes, que poderão dificultar a remoção do conjunto⁽¹⁴⁾.

A desmontagem pode ser dividida em dois tipos: não destrutiva - que pode ser classificada como parcial ou seletiva - e a destrutiva caracterizada pela demolição descontrolada da estrutura do produto. A primeira é a mais adequada, pois a desmontagem é planejada e projetada para que seja executada em subconjuntos pequenos e/ou peças. A segunda classificação pode não ser economicamente viável, pois deve-se considerar as imposições de prazo, fatores econômicos, presença de materiais tóxicos e perigosos etc.⁽¹⁵⁾.

Em uma perspectiva de melhorar o comportamento dos produtos em seu ciclo de vida, o planejamento eficaz dos processos de desmontagem obtém importância estratégica, melhorando tanto a fase de utilização do produto, facilitando as operações de serviços (manutenção, atualização e reparos), quanto à fase de fim de vida,

favorecendo a reciclagem de materiais e a recuperação e reutilização de componentes. Além disso, outras considerações também estão ligadas à desmontagem, por exemplo: produtos projetados para a este fim são de fácil manuseio e não constituem um perigo para a saúde ocupacional⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾.

As etapas de desmontagem tem o objetivo de separar um produto em componentes e materiais que serão reparados, substituídos ou reutilizados e pode ser definido como a remoção sistemática de componentes desejáveis de uma montagem, garantindo que nenhuma peça seja danificada neste processo⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾.

As principais dificuldades estão relacionadas ao fato de que a maioria dos produtos não é projetada com o foco de aumentar a eficiência do processo de desmontagem, a chamada “desmontabilidade“. Além da dificuldade de obtenção de outras informações necessárias para o planejamento deste processo, as técnicas não levam em consideração a necessidade de posterior desmontagem, além de apresentarem inúmeras etapas, diversidade de materiais e complexos subconjuntos, onde os componentes ambientalmente problemáticos estão dispersos e as configurações dos produtos não levam em conta os efeitos que são altamente problemáticos para uma operação de desmontagem, mas que são inerentes ao produto ao longo de sua vida útil, tais como por exemplo, a corrosão, reparação e contaminação⁽¹⁶⁾⁽¹⁸⁾.

Alguns aspectos a serem considerados no processo de planejamento e de programação da desmontagem são⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾⁽²⁰⁾: analisar as características do sistema (sua geometria e suas relações de montagem entre os componentes); gerar de uma Árvore de Desmontagem (*Disassembly Tree* - DT) ou Árvore Hierárquica de Desmontagem (*Hierarchical Disassembly Tree* - HDT); definir grupo de possíveis sequências a serem seguidas na desmontagem; gerar a Sequência de Desmontagem (*Disassembly Sequence Generation* – DSG) ótima (ou quase ótima) ou Sequenciar de maneira Ótima a Desmontagem (*Optimal Disassembly Sequence* - ODS), mais rápida, eficiente e rentável, nos pontos de vista econômico e ambiental; e determinar o nível ótimo da desmontagem.

Os aspectos considerados devem ser analisados e avaliados fornecendo um *feedback* à fase de projeto com o objetivo de auxiliar nas melhores decisões no início do PDP (Processo de Desenvolvimento de Produtos), permitindo o *Ecodesign* (por exemplo, mudanças em materiais das peças e métodos desmontagem). Porém, a análise de produtos com relação à desmontagem geralmente é considerada como um pós-processo quando se desenvolve produtos⁽¹⁸⁾⁽²¹⁾.

O DfD envolve o uso de regras gerais de projeto e diversas ferramentas e as suas diretrizes mais importantes se referem à consolidação de peças, por exemplo: redução do número de peças e subconjuntos do produto; limitação da variabilidade de materiais (subconjuntos com número reduzido de materiais e materiais compatíveis, evitando a combinação de materiais que podem dar origem à corrosão ou envelhecimento); o agrupamento de componentes nocivos, valiosos ou reutilizáveis, para o mesmo subconjunto, facilitando o acesso a estas peças ou componentes, e protegendo as peças contra a sujeira, facilitando a drenagem de fluidos do produto; utilização de técnicas de fixação mais simples (fácil acesso, redução da necessidade de força para desmontagem, não utilização de adesivos, número mínimo de elementos de fixação, fixando diversas peças com um mesmo elemento), projetar para a desmontagem por meio de movimentos simples, por exemplo, a não utilização de rotações, e projetar para o reconhecimento de material, seja por meio de etiquetas,

códigos, tecnologias de informação ou de outras formas⁽¹⁶⁾.

Facilitar a desmontagem não se limita apenas que o produto tenha a possibilidade de ser desmontado. O importante é que essa etapa seja eficaz, principalmente nos casos de manutenção onde o acesso aos componentes deve ser fácil, rápido e após a manutenção o produto deve permanecer com as mesmas características originais⁽³⁾.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia deste trabalho segue as seguintes etapas: (1) Pesquisar os métodos de *Design for Assembly* e *Design for Disassembly* nos Portais de Periódicos da CAPES, Banco de Teses e Dissertações da CAPES e *Science Direct*; (2) Analisar e selecionar as técnicas dos métodos de DfA e DfD que podem ser aplicadas durante as etapas de projeto de molde de injeção, com o auxílio de especialistas em moldes; (3) Aplicar as técnicas selecionadas pertinentes ao projeto de molde de injeção, com o mesmo auxílio desses especialistas em um molde pré-determinado; (4) Detalhar as técnicas de DfA e DfD aplicadas no molde padrão na forma de um manual para consulta; e (5) Avaliar se o conteúdo deste manual está de acordo com os princípios de DfA e DfD (*feedback*).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para realizar as etapas de Análise (2) e Aplicação (3) procurou-se determinar as prováveis falhas de montagem e desmontagem que o molde padrão poderia apresentar com base em ⁽¹¹⁾ e ⁽¹²⁾. De posse desta análise, determinou-se possíveis soluções para cada uma das partes constituintes do molde.

3.1 Cavidade Superior

Problema: o projeto original da cavidade superior permite a montagem de forma errada já que seu perfil para montagem é circular (problema de assimetria). Além disso, não possui nenhum tipo de chanfro em seus diâmetros que facilitasse o seu encaixe/montagem na placa porta cavidade (problema de acomodação entre peças). Também não possui nenhum tipo de identificação e dessa forma, pode facilmente ser montada no furo errado da placa porta cavidade (problema de outras situações (identificação))

Solução: na cavidade superior do molde realizou-se um rebaixo no diâmetro maior da peça para servir de referência e evitar que a cavidade seja montada na posição errada deixando a entrada do canal de injeção desalinhado com o canal de injeção da placa cavidade. O diâmetro maior foi chanfrado na parte para facilitar a montagem/encaixe na placa porta cavidade. Também foi numerado para orientar a montagem da cavidade no lugar correto.

3.2 Porta Cavidade Superior

Problema: o projeto original da placa porta cavidade superior possui as faces planas propiciando a adesão da superfície entre placas e, desta forma, acaba dificultando a desmontagem e abertura do molde, já que é difícil de separar as placas, mesmo com o auxílio de uma ferramenta (problema de adesão por contato de superfície). Além disso, a porta cavidade permite sua montagem em posição errada, já que a furação dos pinos guia e das roscas de fixação apresentam-se em posições simétricas. Os alojamentos permitem a montagem das cavidades na posição errada, já que são circulares e não possuem nenhuma referência ou guia para posicionamento

(problema de assimetria). Os furos das buchas guias, da bucha de injeção e os das cavidades não possuem nenhum chanfro ou elemento que facilite a montagem (problema de acomodação entre peças). Também não possui nenhum tipo de identificação de posição e dessa forma a cavidade pode facilmente ser montada no alojamento errado da placa (problema de outras situações (identificação)).

Solução: na placa porta cavidade superior, acrescentou-se rebaixos nos quatro cantos superiores para facilitar a desmontagem das placas, visto que eles evitam a adesão total das peças e permitem a inserção de uma ferramenta ou objeto para auxiliar na desmontagem e abertura do molde. A furação para encaixe da bucha guia e a rosca para fixação de um dos quatro cantos da placa porta cavidade foi deslocada em um eixo para evitar erros de montagem das placas, garantindo sempre seu posicionamento correto durante a montagem. Nos alojamentos de montagem da cavidade, adicionou-se um entalhe para servir de referência e assegurar o correto posicionamento da cavidade e o alinhamento dos canais de injeção da placa com a cavidade. Além disso, ao lado do rebaixo do furo, foi impressa uma numeração para orientar a montagem da cavidade em seu respectivo furo, conforme sua numeração (fabricação). Agregou-se chanfros nos furos na parte inferior da placa porta cavidade, para servir como guia e facilitar o encaixe e montagem das cavidades e pinos guia.

3.3 Cavidade Inferior

Problema: o projeto original da cavidade inferior permite a montagem de forma errada já que seu perfil é circular (problema de assimetria). O componente não possui nenhum tipo de chanfro ou facilitador de montagem em seus diâmetros de interface com a placa porta cavidade ou a nos alojamentos dos pinos extratores (problema de acomodação entre peças). Também não possui identificação e dessa forma pode facilmente ser posicionada no alojamento errado da placa porta cavidade (problema de outras situações (identificação)).

Solução: na cavidade inferior do molde executou-se um rebaixo no diâmetro maior da peça para servir de referência e evitar que a cavidade seja posicionada de forma errada, deixando a entrada do canal de injeção desalinhado em relação ao da placa cavidade. O diâmetro maior foi chanfrado na parte externa para facilitar a acomodação na placa porta cavidade. Foi inserida uma numeração para orientar a montagem da cavidade no alojamento correto.

3.4 Porta Cavidade Inferior

Problema: a versão original do porta cavidade inferior possui as faces planas o que facilita a adesão dela com a superfície das outras placas. Este problema dificulta a desmontagem e abertura do molde pois dificulta a desmontagem das placas mesmo com o auxílio de uma ferramenta (problema de adesão por contato de superfície). Possui as furações dos pinos guia e as roscas de fixação simétricos, permitindo a montagem da placa virada ou em posição errada. Os alojamentos das cavidades são circulares e não possuem nenhuma referência ou guia para montagem, permitindo a montagem errada das cavidades (problema de assimetria). A furação dos pinos guias, do pino de extração e os das cavidades não possuem nenhum facilitador de montagem (problema de acomodação entre peças). Também não possui nenhum tipo de identificação e dessa forma a cavidade pode facilmente ser montada no furo errado da placa (problema de outras situações (identificação)).

Solução: na placa porta cavidade inferior, acrescentou-se rebaixos nos quatro cantos superiores para facilitar a desmontagem das peças, visto que eles evitam a adesão total entre as peças e permitem a inserção de uma ferramenta para auxiliar

na desmontagem e abertura do molde. A furação para encaixe do pino guia e a rosca para fixação de um dos quatro cantos da placa porta cavidade foi deslocada em um eixo para evitar erros de montagem das placas, garantindo sempre seu posicionamento correto durante a montagem.

Nos rebaixos dos furos de montagem da cavidade, adicionou-se um entalhe para servir de referência e assegurar o correto posicionamento da cavidade e o alinhamento dos canais de injeção da placa com a cavidade. Além disso, ao lado do rebaixo do furo, foi impressa a numeração para orientar a montagem da cavidade em seu respectivo furo, conforme sua numeração (fabricação). Foram acrescentados chanfros nos furos na parte inferior da placa porta cavidade, para servir como guia e facilitar o encaixe e montagem das cavidades e pinos guia.

Adicionou-se dois furos para passagem dos pinos de retorno da extração. Os furos foram feitos com distancias diferentes em relação ao centro da placa (assimétricos) para garantir a montagem e encaixe do sistema de extração na posição correta. Os furos foram chanfrados para facilitar a passagem dos pinos.

3.5 Pinos de Extração

Problema: o pino de extração do projeto original do molde padrão permite que ele seja montado na posição e no alojamento errado já que o seu corpo e a parte superior (cabeça) são de formato cilíndrico (problema de assimetria) e não possuem nenhum tipo de identificação que oriente sua montagem (problema de outras situações (identificação)).

Solução: os pinos dos extratores foram alterados e tiveram as cabeças (diâmetros maiores) chanfradas para existir uma referência de montagem, garantindo a montagem na posição correta, conforme detalhes da cavidade. Numerou-se as cabeças dos pinos de forma sequencial para orientar em qual furo da placa de extração o mesmo deve ser montado conforme sua fabricação e perfil da cavidade.

3.6 Contra Placa Extratora

Problema: o projeto original da contra placa extratora não possui chanfro ou guias no furo de encaixe do pino de extração, o que dificulta a montagem do mesmo (problema de acomodação entre peças). Os furos de encaixe dos pinos extratores são circulares (problema de assimetria) e não possuem nenhum guia ou elemento de orientação de montagem (problema de outras situações (identificação)).

Solução: na contra placa extratora, acrescentou-se chanfros na furação do pino de extração. Na furação dos pinos extratores, adicionou-se um entalhe para servir de referência e garantir a montagem nos pinos extratores na posição correta conforme o detalhe da cavidade. Também, numerou-se de forma sequencial e de acordo com o local de montagem dos mesmos, conforme detalhe da cavidade, para orientar e facilitar a montagem do pino no local correto.

Adicionou-se dois furos para montagem dos pinos de retorno da extração. Os furos foram executados com distâncias diferentes em relação ao centro da placa (assimétricos) para garantir a montagem e encaixe do sistema de extração na posição correta. Os furos também foram chanfrados para facilitar a passagem dos pinos.

3.7 Espaçador

Problema: o projeto original do espaçador possui as faces planas o que propicia a adesão da superfície com os demais componentes, dificultando a desmontagem do molde, pois existe uma resistência durante a separação do conjunto, mesmo com o auxílio de uma ferramenta (problema de adesão por contato de

superfície). Os alojamentos dos parafusos de fixação não possuem nenhum chanfro ou guia, dificultando a montagem (problema de acomodação entre peças).

Solução: acrescentou-se no espaçador rebaxos nos quatro cantos para facilitar a desmontagem das peças, visto que eles evitam a adesão total das peças e permitem a inserção de uma ferramenta ou objeto para auxiliar na desmontagem do molde. Em um dos espaçadores, deslocou-se a sua furação em um eixo para evitar erros de montagem dos espaçadores e do molde assegurando o posicionamento correto durante a montagem. Adicionou-se chanfros nos furos do espaçador, para servir como guia e facilitar a passagem dos parafusos de fixação das placas.

3.8 Placa Base do Extrator

Problema: o projeto original da placa base do extrator possui as faces planas e, desta forma, a adesão entre as superfícies dos componentes ocorre com mais facilidade dificultando a desmontagem do conjunto mesmo com o auxílio de uma ferramenta (problema de adesão por contato de superfície).

Solução: na placa base do extrator foram acrescentados rebaxos nos quatro cantos superiores para evitar a adesão total das peças, facilitar a desmontagem e permitir a inserção de uma ferramenta para auxiliar na desmontagem e abertura do molde.

3.9 Placa Base Superior

Problema: No projeto original da placa base superior não existe um elemento facilitador para desmontagem do anel no alojamento, visto que ele e a placa base superior possuem as superfícies planas e podem aderir facilmente (problema de adesão por contato de superfície). Além disso, não existem chanfros para auxiliar e facilitar a montagem do anel de centragem no alojamento (problema de acomodação entre peças).

Solução: A furação para passagem dos parafusos de fixação de um dos quatro cantos da placa base superior foi deslocada em um eixo para evitar erros de montagem das placas garantindo o posicionamento correto durante a montagem. Acrescentou-se um entalhe no rebaxo de encaixe do anel de centragem para facilitar desmontagem do anel de centragem, já que permite a inserção de uma ferramenta ou objeto para auxiliar na desmontagem em caso de adesão do anel com a placa. O rebaxo foi chanfrado para facilitar a montagem/encaixe do anel de centragem.

3.10 Bucha Guia

Problema: o projeto original da bucha guia não possui chanfros ou guias para facilitar a montagem no furo da placa cavidade (problema de acomodação entre peças).

Solução: o diâmetro maior da bucha guia foi chanfrado para facilitar a montagem da mesma na placa porta cavidade superior. A bucha já possuía chanfros nos furos.

3.11 Pino Guia

Problema: o projeto original do pino guia não possui chanfro ou guia para facilitar a montagem do mesmo no furo da placa cavidade (problema de acomodação entre peças).

Solução: incluiu-se no pino guia um chanfro na parte interna da cabeça para servir como guia e facilitar a montagem na placa porta cavidade superior. O pino já possuía chanfros nos outros diâmetros. O pino já possui dois diâmetros no seu corpo

o que facilita sua montagem e isso permite que o mesmo seja encaixado boa parte do seu corpo, sem qualquer interferência com a placa porta cavidade, até que o segundo diâmetro seja montado.

3.12 Anel de Centragem

Problema: o projeto original do anel de centragem não possui chanfros ou guias para facilitar a montagem no alojamento da placa base (problema de acomodação entre peças).

Solução: a parte inferior do anel de centragem foi chanfrada para facilitar a montagem do anel na placa base superior.

3.13 Placa Base Inferior

Problema: o projeto original da placa base do inferior possui as furações dos pinos guia e as roscas de fixação simétricos permitindo a montagem da placa virada ou em posição errada (problema de assimetria).

Solução: deslocou-se a furação para passagem dos parafusos de fixação de um dos quatro cantos da placa base superior em um eixo para evitar erros de montagem das placas, garantindo o posicionamento correto durante a montagem.

3.14 Placa Suporte

Problema: o projeto original da placa suporte possui as faces planas e, desta forma, a adesão entre as superfícies dos componentes ocorre com mais facilidade dificultando a desmontagem do conjunto, mesmo com o auxílio de uma ferramenta (problema de adesão por contato de superfície). Possui as furações de fixação simétricas permitindo a montagem da placa virada, ou em posição errada (problema de assimetria). Os furos de fixação e de passagem dos pinos extratores não possuem nenhum convite ou chanfro que facilite a montagem (problema de acomodação entre peças).

Solução: acrescentou-se na placa suporte rebaixos nos quatro cantos superiores para facilitar a desmontagem das peças, visto que eles evitam a adesão total das peças e permitem a inserção de uma ferramenta ou objeto para auxiliar na desmontagem e abertura do molde. A furação para encaixe do parafuso para fixação de um dos quatro cantos da placa suporte foi deslocada em um eixo para evitar erros de montagem das placas, garantindo o posicionamento correto durante a montagem.

Os furos para passagem dos parafusos de fixação e pinos de extração para facilitar o encaixe e montagem dos pinos e parafusos também foram rebaixados.

Acrescentou-se dois furos para passagem dos pinos de retorno da extração e adicionou-se dois furos para passagem dos pinos de retorno da extração. Os furos foram executados com distâncias diferentes, em relação ao centro da placa (assimétricos), para garantir a montagem e encaixe do sistema de extração na posição correta. Os furos foram chanfrados para facilitar a passagem dos pinos.

3.15 Bucha de Injeção

A bucha de injeção não sofreu qualquer alteração, pois já possuía um chanfro no seu diâmetro maior que serve como guia e facilita a montagem da mesma.

3.16 Pino Extrator do Canal

Não se executou qualquer alteração no pino extrator do canal de injeção, visto que o mesmo possuía as medidas de diâmetro padronizadas com os outros pinos extratores e com os pinos de retorno.

3.17 Pino de Retorno

Problema: o projeto original não possui definição de mecanismo para retorno da placa extratora.

Solução: foi acrescentado nesse molde o pino de retorno, visto que, além de auxiliar no retorno da placa extratora, ainda serve como um *poka yoke*, evitando erros de montagem do sistema de extração.

3.18 Molde

No conjunto do molde foram alterados comprimentos dos parafusos, uma vez que a dimensão das roscas já eram as mesmas para todos.

4 CONCLUSÃO

Moldes de injeção são ferramentas utilizadas a muito tempo e, desta maneira, o seu projeto, em sua maioria, já possui um grande número de padronizações e otimizações com relação aos seus componentes. Com a implantação das técnicas *Design for Assembly* e *Design for Disassembly*, não foi possível reduzir o número de componentes do molde, porém conseguiu-se adotar uma padronização dos parafusos de fixação. Esta ação permite uma maior facilidade de montagem e desmontagem do molde uma vez que a operação requer um menor número de ferramentas, além de reduzir a variedade de componentes no estoque de reposição.

Ao serem empregadas as técnicas de DfA e DfD foram obtidos componentes com projetos assimétricos, criação de peças com pré-posicionadores, inclusão dos pinos guia para a extração, buchas do molde, inserção de chanfros que servem como facilitadores que proporcionam a redução na força dessa montagem. Todas as melhorias facilitam a montagem e a desmontagem, além de prevenir possíveis erros que podem gerar retrabalhos, refugos de peças e perdas de materiais.

Moldes de injeção necessitam de constantes manutenções e em alguns casos, as cavidades são substituídas para otimizar a ferramenta. Neste caso, a desmontagem é uma questão muito importante que muitas vezes é desconsiderada durante o projeto. Com base no molde original foram aplicados os métodos de *Design for Disassembly* de forma que a desmontagem necessite de menos tempo e esforço. Pensado nisso, foram efetuadas alterações para que a acomodação entre peças não propicie a adesão entre as placas e as placas e componentes.

Avaliando o novo projeto do molde feito, com a utilização das técnicas de *Design for Assembly* e *Design for Disassembly*, é possível identificar que o mesmo apresenta maior facilidade de montagem e desmontagem, e que estas operações apresentam menores riscos de erro. Conclui-se ainda que a montagem e a desmontagem de um molde projetado seguindo estas técnicas apresenta menor dificuldades de manutenção, se comparado aos moldes constituídos sem a aplicação dessas técnicas.

REFERÊNCIAS

- 1 BOOTHROYD, G.; ALTING, L. Design for Assembly and Disassembly. 2007.
- 2 SCUR, A. R. Aplicação do Design for Assembly (DFA) no desenvolvimento do projeto conceitual de um dispositivo funcional. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009, 87p. Dissertação (Mestrado).
- 3 KLOHN, S. C. Ecodesign: Desenvolvimento de pictogramas para o auxílio da

- desmontagem de produtos. 2009. Dissertação (Mestrado em Design). Escola de engenharia e Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS.
- 4 SARMENTO, A. A. et al. Projeto Orientado para Montagem: Aplicação de Ferramenta DFA (design for Assembly) em Tampas de Combustível de um Veículo Automotivo, VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2010.
 - 5 BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P.; KNIGHT, W. Product Design for Manufacture and Assembly. 1st edition. New York: Marcel Dekker Inc., 1994.
 - 6 REDFORD, A.; CHAL, J. Design for Assembly: principles and practice 2 ed. New York: London, 1994.
 - 7 DORADOR, J. Product and Process Information Interactions in Assembly Decisions Support Systems. 2001. 204f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) Loughborough University, Leicestershire. 2001
 - 8 ROZENFELD, H; FORCELLINI, F.; AMARAL, D.; TOLEDO, J.; SILVA, S.; ALLIPRANDINA, D.H; SCALICE, R.K. et al. Gestão de Desenvolvimento de Produtos Uma referência para a melhoria do processo 1ed. São Paulo: Saraiva, 2006.
 - 9 BOOTHROYD, G.; ALTING, L. Design for Assembly and Disassembly. 2007.
 - 10 SAVI, A. F. Modelo de Sistema para Gerenciamento de Conhecimentos Explícitos em Abordagens de DfA (Design for Assembly). São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2009, 164p. Dissertação (Doutorado).
 - 11 BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P. Product Design for Assembly. 1st edition. Rhodelsland, USA: Boothroyd Dewhurst Inc., 1989.
 - 12 BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P.; KNIGHT, P. Product Design for Manufacture and Assembly. Second edition. Loan Marinescu, Ohio, 2002.
 - 13 VALENTOVIĆ, Ernest. Geometric and static conditions of assembly. 2000.
 - 14 KUO, T. C. et al. Design for Manufacture and Design for X: concepts, applications and perspectives, Computers & Industrial Engineering, p. 241- 260, 2002.
 - 15 DESAI, A.; MITAL, A. Evaluation of disassemblability to enable design for disassembly in mass production. International Journal of Industrial Ergonomics, Cincinnati, p. 1-17, v. 32, abril 2003.
 - 16 ALTING, L. Life Cycle Engineering and Design. CIRP Annals - Manufacturing Technology, 1995.
 - 17 KONGAR, E.; GUPTA, S.M. Disassembly sequencing using genetic algorithm. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 30, n. 5-6, p. 497-506, 2006.
 - 18 GIUDICE, F.; FARGIONE, G. Dissassembly planning of mechanical systems for service andrecovery: A genetic algorithms based approach. Journal of Intelligent Manufacturing, v. 18, n. 3,p. 313-329, 2007.
 - 19 GUNGOR, A.; GUPTA, S.M. Issues in environmentally conscious manufacturing and product recovery: a survey. Computers and Industrial Engineering, v. 36, n. 4, p. 811-853, 1999.
 - 20 DONG, J.; GIBSON, P.; ARNDT, G. Dissassembly sequence generation in recycling based on parts acessibility and end-of-life strategy. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, v. 221, n. 6, p. 1079-1085, 2007.
 - 21 FELDMANN, K.; MEEDT, O.; TRAUTNER, S.; SCHELLER, H.; HOFFMAN, W. `GreenDesign Advisor': A tool for design

DETERMINAÇÃO DA INDUÇÃO DE SATURAÇÃO DE CAMPO MAGNÉTICO EM LIGAS FERROSAS PARA APLICAÇÃO EM NÚCLEO DE ALTO FALANTES

Oliveira, W. C.¹
de Barcellos, V. K.²

¹ Aluno MSc, Wagner Cardozo Oliveira, LAFUN -PPGE3M- UFRGS, wagner.oliveira@harman.com

² Prof. Dr. Vinicius Karlinski de Barcellos, LAFUN -PPGE3M- UFRGS, vinicius.karlinski@ufrgs.br

Resumo

O objetivo desse trabalho é analisar a indução de saturação de campo magnético em amostras de ligas de ferro fundido nodular e de aços baixo carbono com diferentes teores de silício. O propósito do estudo é avaliar materiais que possam aumentar o campo magnético do alto falante. Foram estudadas 7 (sete) ligas de aço com diferentes teores de carbono e silício, brutas de fusão, e para cada uma delas foram analisadas 3 amostras. Propriedades magnéticas foram obtidas através de ensaios de magnetização e permeabilidade magnética para cada amostra. Das ligas analisadas, a Liga 3, com maiores teores de silício entre as ligas de aço, foi a que apresentou melhores resultados de indução de saturação. Espera-se que o componente fabricado com essa liga proporcione maior potência nos autofalantes.

Palavras-chave: Indução de saturação, campo magnético, silício.

DETERMINATION OF MAGNETIC FIELD SATURATION INDUCTION IN FERROUS ALLOYS FOR SPEAKERS NUCLEUS APPLICATION

Abstract

This research is aimed at analyzing the magnetic field saturation induction in samples of nodular cast iron alloys and low carbon steels with different silicon contents. The purpose of the study is to evaluate materials that can increase the magnetic field of the speaker. Seven (7) steel alloys were studied with different carbon and silicon content, crude melt, and three samples were analyzed for each one. Magnetic properties were obtained by magnetization and magnetic permeability tests for each sample. From the alloys analyzed, the Alloy 3, with higher silicon content among the steel alloys, was the one that presented better saturation induction results. It is expected that the component made from this alloy will provide greater power in the speakers.

Key words: Saturation induction, magnetic field, silicon.

1 INTRODUÇÃO

Os métodos de fabricação de alto falantes vêm evoluindo durante os anos, a indústria Brasileira e estrangeira vem desenvolvendo métodos cada vez mais produtivos e eficazes de montagem, porém seus componentes não sofrem essa evolução. Como conceito global, a indústria mundial busca a segurança e qualidade de seus produtos e serviços com menor investimento em material, energia, pessoal, e com a redução de custos de seus produtos e com o processo de produção. Para adaptar-se às exigências de um mercado industrial cada vez mais concorrente, a indústria moderna se obriga a desenvolver novas técnicas e conceitos de produção. Ainda há grande pontos a serem evoluídos em seus componentes, destacando o anel superior que é uma peça importante do conjunto magnético e que também é responsável pela fixação da carcaça do alto falante. Atualmente na indústria é usado o aço SAE 1020 para fabricação deste componente, porém durante os anos percebeu-se que este componente é também uma restrição ao campo magnético que se forma entre a bobina e o ímã, causando assim ao alto falante uma perda de potência. ⁽³⁻⁵⁾ Para a caracterização desse tipo de material podem ser usados métodos não destrutivos de teste, os quais permitem um processo estável e rápido, e com menos perdas. ⁽³⁻⁵⁾

Com esta compreensão, o presente estudo tem como objetivo analisar a indução de saturação de campo magnético em amostras de ligas de ferro fundido nodular e de aços baixo carbono com diferentes teores de silício. Assim, pretende-se comparar seus resultados para verificar a liga que apresenta o melhor rendimento de indução de saturação magnética.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para realizar esta pesquisa foram confeccionados 3 corpos de prova das ligas fundidas, como mostra a Figura 1. Foram analisadas 7 ligas fundidas, sendo 2 de ferro fundido nodular e 5 de aços baixo carbono com diferentes teores de silício. A composição química das ligas está apresentada na Tabela 1. Para os ensaios de magnetização e permeabilidade magnética foram retiradas amostras menores de cada corpo de prova obtido. Essas amostras foram identificadas como FOFO, FOFO1, LIGA1.1, LIGA1.2, LIGA2.1, LIGA2.3 e LIGA3.

Figura 1. Corpos de prova para ensaio de magnetização.

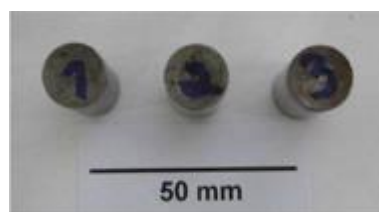


Tabela 1. Composição química das ligas de aço baixo carbono analisadas.

<i>Amostras</i>	<i>% C</i>	<i>% Mn</i>	<i>% Si</i>
FOFO	3,70	0,22	2,82
FOFO1	3,42	0,25	2,86
Liga 1_1	0,06	0,46	1,25
Liga 1_2	0,21	0,49	1,24
Liga 2_1	0,19	0,48	1,28
Liga 2_2	0,18	0,52	1,25
Liga 3	0,10	0,50	2,50

Os ensaios de magnetização e permeabilidade magnética foram realizados no laboratório de Magnetismo e materiais da Universidade Federal de Santa Maria.

As amostras foram fabricadas no formato cilíndrico e identificadas com o nome da liga seguido das letras A, B e C.

Para todas as amostras foram obtidas as curvas de magnetização utilizando um magnetômetro de gradiente de força alternada (AGFM) montado em um eletroímã. Todas as amostras foram magnetizadas com o campo aplicado ao longo do eixo das amostras. O campo foi variado no ciclo 3 kOe \rightarrow -3 kOe \rightarrow 3 kOe para aquisição dos valores de indução magnética em função do campo externo; $J(H) = 4\pi M(H)$. A medida do campo aplicado nas amostras durante as medidas de magnetização foi feita com uma sonda Hall e Gaussímetro da Lake Shore modelo 455DSP.

O campo magnético efetivo (interno à amostra) foi calculado corrigindo o campo externo pelo fator de desmagnetização, estimado para cada amostra utilizando o método descrito por Richard M. Bozorth (1993). ⁽¹⁾ O valor do fator desmagnetizante para cada amostra foi obtido a partir de interpolação dos dados para amostras cilíndricas. ⁽¹⁾

A massa das amostras foi medida em uma balança de precisão da marca Sartorius com resolução de 0,1 mg. O volume de cada amostra foi determinado a partir das medidas de diâmetro e comprimento usando um micrômetro INSIZE com resolução de 0,001 mm.

Para a calibração das curvas de magnetização foi usada uma amostra de níquel com as mesmas dimensões dos corpos de prova (diâmetro 1mm e comprimento 3 mm) e pureza de 99,95%. A magnetização de saturação do Ni (100%) a 25°C é de 55,09 emu/g. A curva de magnetização da amostra de Ni foi realizada na mesma condição que os corpos de prova fornecidos.

Durante o ensaio de medição de magnetização, o eletroímã não forneceu campo suficiente para atingir a saturação das amostras. Portanto, a determinação da magnetização de saturação das amostras foi obtida por uma aproximação à saturação proposta por P. Weiss (1926). ⁽²⁾ Nesse método é feito uma extrapolação da curva de magnetização para campo infinito ou $J(1/H_{eff})$ com $1/H_{eff} \rightarrow 0$

Os contatos nas amostras foram feitos com solda ponto. Durante a medida, a corrente na amostra foi estabelecida com uma fonte de corrente (aparelho modelo Keitley 6121) com precisão melhor do que de 0,1 μ A, variando de -100 a +100 mA. A tensão sobre a amostra foi medida com um nanovôltemetro (modelo Keithley 2182A) com uma resolução de 0,1 μ V.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabelas 2 os resultados das medidas de resistividade elétrica e densidade nas amostras analisadas.

Tabela 2. Resultada das amostras de densidade, resistência e resistividade.

Amostras	Densidade (g/cm ³)	Resistência (Ω)	Resistividade (Ωm)
FOFO A	6.963	0.00860	7,462 x 10 ⁻⁷
FOFO B	6.923	0.00858	7,366 x 10 ⁻⁷
FOFO C	7.117	0.00953	8,350 x 10 ⁻⁷
FOFO 1 A	6.895	0.00928	8,576 x 10 ⁻⁷
FOFO 1 B	6.693	0.00867	8,295 x 10 ⁻⁷
FOFO 1 C	6.871	0.01191	10,33 x 10 ⁻⁷
LIGA 1.1 A	7.651	0.00829	7,409 x 10 ⁻⁷
LIGA 1.1 B	7.540	0.00817	7,314 x 10 ⁻⁷
LIGA 1.1 C	7.573	0.00820	6,923 x 10 ⁻⁷
LIGA 1.2 A	7.612	0.01145	9,890 x 10 ⁻⁷
LIGA 1.2 B	7.584	0.01154	9,957 x 10 ⁻⁷
LIGA 1.2 C	7.458	0.01118	9,538 x 10 ⁻⁷
LIGA 2.1 A	7,513	0.01176	10,08 x 10 ⁻⁷
LIGA 2.1 B	7,462	0.01091	9,316 x 10 ⁻⁷
LIGA 2.1 C	7,459	0.01201	10,32 x 10 ⁻⁷
LIGA 2.2 A	7,875	0.00822	7.095 x 10 ⁻⁷
LIGA 2.2 B	7,383	0.00811	7.019 x 10 ⁻⁷
LIGA 2.2 C	7,456	0.00987	7.105 x 10 ⁻⁷
LIGA 3 A	7.690	0.00876	7.90 x 10 ⁻⁷
LIGA 3 B	7.576	0.00987	7.76 x 10 ⁻⁷
LIGA 3 C	7.798	0.00876	8.07 x 10 ⁻⁷

As Figuras 2 a 8 mostram os resultados das medidas de magnetização e permeabilidade magnética, onde são apresentadas as curvas de permeabilidade relativa DC (μ/μ_0) em função do campo interno (H_{eff}) de amostras das diferentes ligas, junto com o ajuste. Os ajustes foram feitos no ramo descendente da curva de permeabilidade, ou seja, desde campo Maximo positivo até próximo a zero.

A equação de ajuste foi um polinômio de grau 3 em escala logarítmica e descrita como:

$$\log(\mu) = A + B1 \log(H_{eff}) + B2 [\log(H_{eff})]^2 + B3 [\log(H_{eff})]^3 \quad (\text{EQ. 1})$$

Figura 2. Gráfico de permeabilidade versus campo efetivo para amostra FOFO.

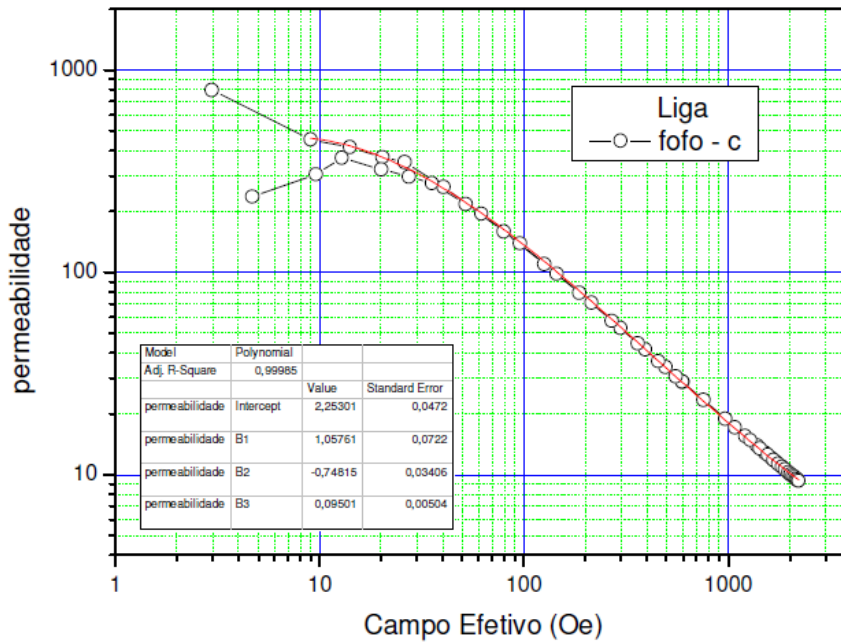


Figura 3. Gráfico de permeabilidade versus campo efetivo para amostra FOFO1.

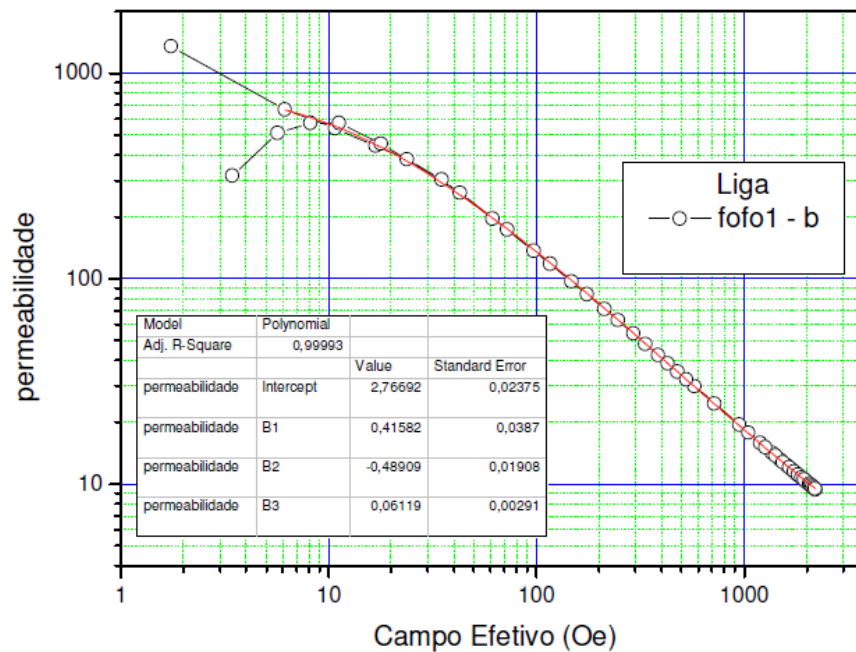


Figura 4. Gráfico de permeabilidade versus campo efetivo para amostra Liga 1.1.

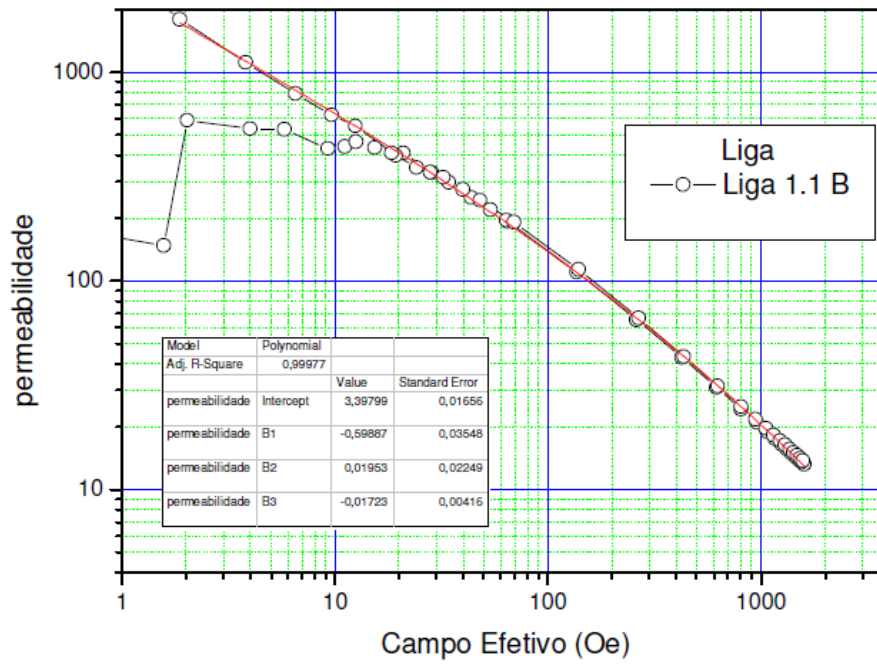


Figura 5. Gráfico de permeabilidade versus campo efetivo para amostra Liga 1.2.

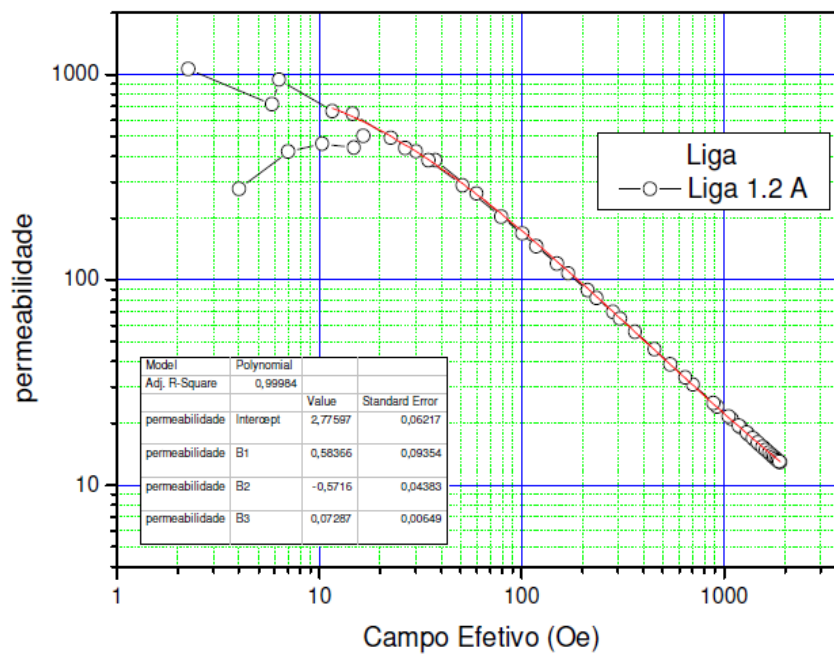


Figura 6. Gráfico de permeabilidade versus campo efetivo para amostra Liga 2.1.

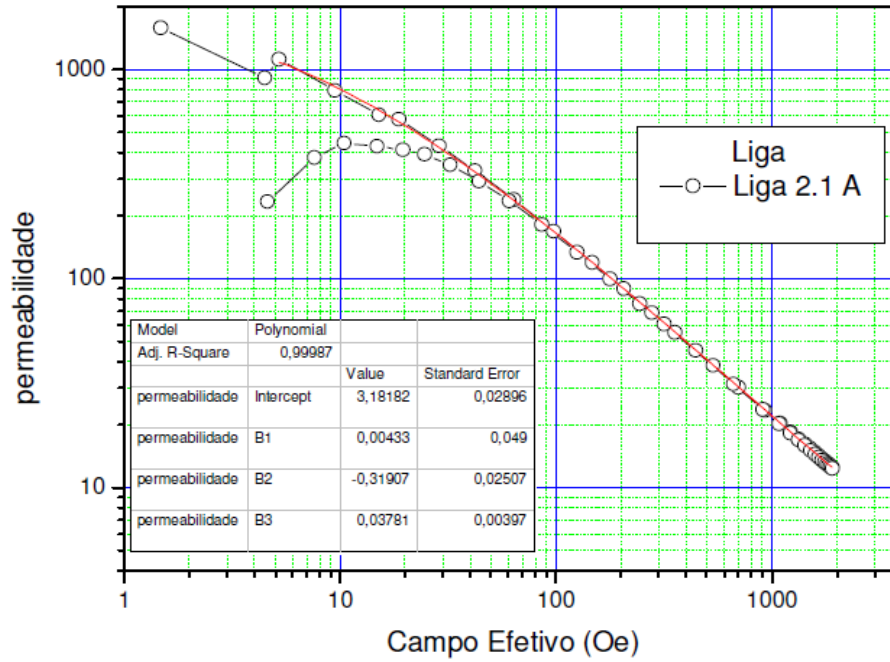


Figura 7. Gráfico de permeabilidade versus campo efetivo para amostra Liga 2.2.

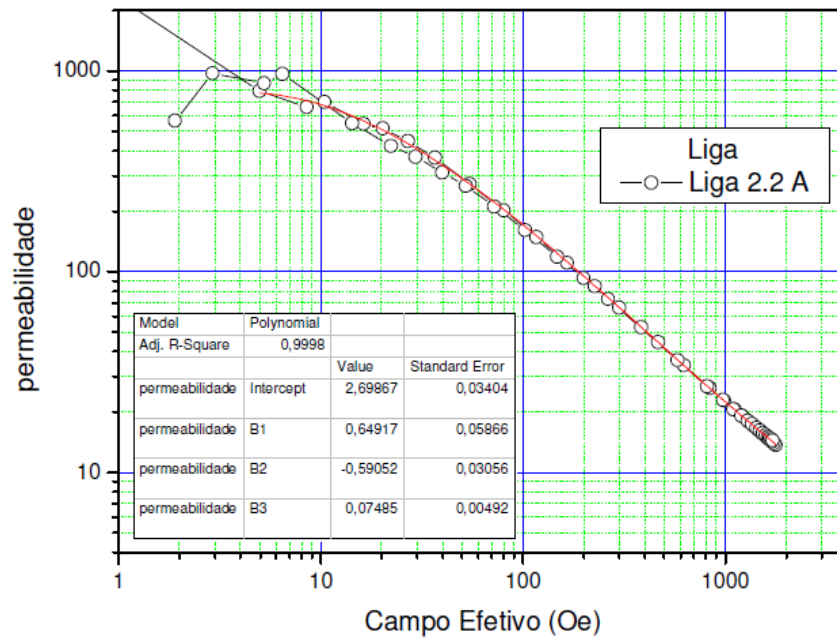
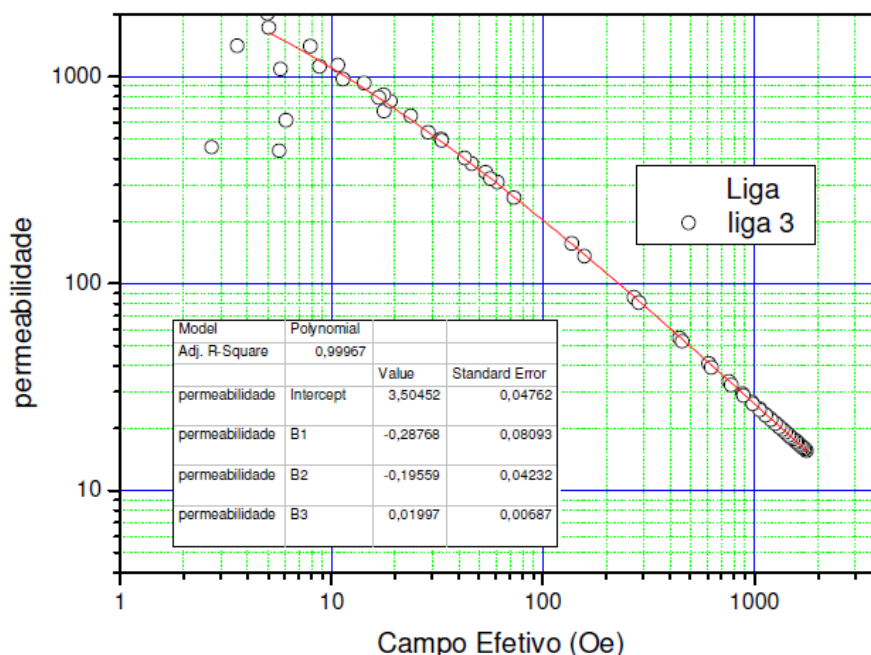


Figura 8. Gráfico de permeabilidade versus campo efetivo para amostra Liga 3.



A tabela 3 apresenta uma síntese dos resultados extraídos das curvas de magnetização de todas as ligas. Estão apresentados também os coeficientes de ajuste das curvas de permeabilidade e a permeabilidade medida a $H_{eff} = 10$ Oe (μ_{10}).

Tabela 3. Curvas de Indução e de Permeabilidade relativa.

LIGA	Curvas de indução			Curvas de permeabilidade relativa				
	Indução de saturação J_S (kG)	Indução remanescente J_R (kG)	Campo coercivo H_C (Oe)	A	B1	B2	B3	μ_{10}
Fofo	19,2	1,2	3,0	2,25	1,06	-0,748	0,095	631
Fofo1	19,2	1,5	2,5	2,77	0,416	-0,489	0,061	560
Liga 1.1	20,3	0,7	2,0	3,40	-0,599	0,020	-0,017	622
Liga 1.2	23,1	1,0	1,5	2,78	0,584	-0,572	0,073	683
Liga 2.1	23,1	2,5	2,1	3,18	0,004	-0,319	0,038	789
Liga 2.2	23,6	1,4	1,3	2,70	0,649	-0,591	0,075	692
Liga 3	26,7	7,6	40,0	3,50	-0,288	-0,196	0,020	1085

4 CONCLUSÃO

Esta pesquisa mostra a evolução significativa do campo magnética para ligas ferrosas com a variação do teor de silício. Das ligas analisadas, a Liga 3 foi a que apresentou melhores resultados de indução de saturação. Isso provavelmente deve-se ao maior teor de silício entre as ligas de aço analisadas. Se comparado os resultados com as ligas de ferro fundido, que possuem maiores teores de Si, a Liga

3 ainda apresenta evolução na Indução de saturação. Nesse caso, a grafita nos ferros fundidos reduz a permeabilidade magnética. Assim, a Liga 3, em relação a liga FOFO, teve em torno de 40% de ganho na indução de saturação. Os testes realizados em produtos finais podem gerar mais resultados significativo em relação ao campo magnético, devendo proporcionar maior potência nos autofalantes. Estes resultados podem gerar ainda redução de energia e calor no produto final. Este deve ser o objeto de estudo para novas pesquisas.

Agradecimentos

Agradecimentos a participação do trabalho da equipe do Laboratório de Magnetismo e Matérias Magnéticas (LMMM) da UFSM, ao Laboratório de Fundação (LAFUN) da UFRGS, à CAPES. E aos Senhores MSc. Regis Amaral e Dr. Carlos Gorga.

REFERÊNCIAS

- 1 Richard M. Bozorth, “ Ferromagnetism ” França, 1993.
- 2 P.Weiss et G.Foex, “ Le Magnétisme ” França, 1926.
- 3 W.R. Runyan “ Semiconductor Measurements an Instrumentation “ New York, 1975.
- 4 S.M. Sze “ Physics of semiconductor devices “ 2º edição, New York, 1981.
- 5 Walfredo Schmidt, “ Materiais Eletricos “ 3º edição, Brasil, 2010.

EFEITO DA POLIMERIZAÇÃO POR PLASMA SOBRE A MORFOLOGIA E PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE SUPERFÍCIES NANOESTRUTURADAS DE Ti6Al4V

Pereira, M.P.¹

Antonini, L.A.²

Pereira, M. B.³

Malfatti, C.F.⁴

¹ Mestranda, Mireli Pandolfo Pereira, LAPEC/PPGE3M - UFRGS, mirelipandolfop@gmail.com.

² Doutor, Leonardo Marasca Antonini, LAPEC/PPGE3M – UFRGS, leomantonini@gmail.com.

³ Doutor, Marcelo Barbalho Pereira, Instituto de Física – UFRGS, marcelo.barbalho@ufrgs.br.

⁴ Doutor, Célia de Fraga Malfatti, LAPEC/PPGE3M – UFRGS, celia.malfatti@ufrgs.br

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

Resumo

A liga de Ti6Al4V é muito utilizada na fabricação de implantes ortopédicos e odontológicos. O processo de adsorção molecular é o resultado favorável das condições e sinais recebidos da interação entre as partes biológicas e a superfície do titânio. Uma das formas de favorecer a biocompatibilidade é a produção de superfícies nanoestruturadas, através do polimento eletroquímico. Com o objetivo de proporcionar uma maior resistência à corrosão e biocompatibilidade da liga de Ti6Al4V, foi aplicado um filme de silano TEOS (tetraetoxissilano - Si(OC₂H₅)₄) através da técnica de polimerização a plasma. Como resultado, foram obtidos filmes finos com espessuras na ordem de 20 nm, apresentando elevada estabilidade química, densa interface de ligação e bioatividade celular. A caracterização morfológica foi realizada por interferometria óptica, elipsometria espectral, microscopia óptica e microscopia eletrônica de varredura/espectroscopia por energia dispersiva (MEV/EDS). Enquanto que a caracterização quanto à molhabilidade, foi realizada pelo método da gota séssil. Resultados preliminares evidenciaram que o processo de eletropolimento com a aplicação do filme de TEOS promoveu alterações morfológicas, contribuindo para o aumento da rugosidade e redução do ângulo de contato, favorecendo a obtenção de uma superfície mais hidrofílica.

Palavras-chave: Superfícies nanoestruturadas, Ti6Al4V, Eletropolimento, Polimerização a plasma.

Abstract

The Ti6Al4V alloy is widely used in the manufacture of orthopedic and dental implants. The molecular adsorption process is the favorable result of the conditions and signals received from the interaction between the biological parts and the titanium surface. One of the ways to favor biocompatibility is the production of nanostructured surfaces through electrochemical polishing. In order to provide a higher resistance to corrosion and biocompatibility of the Ti6Al4V alloy, a TEOS

silane film (tetraethoxysilane - $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$) was applied by the plasma polymerization technique. As a result, thin films with thicknesses of the order of 20 nm were obtained, exhibiting high chemical stability, dense binding interface and cellular bioactivity. The morphological characterization was performed by optical interferometry, spectral ellipsometry, optical microscopy and scanning electron microscopy / energy dispersive spectroscopy (SEM/EDS). While the wettability characterization was performed by the sessile drop method. Preliminary results evidenced that the electropolishing process with the application of the TEOS film promoted morphological alterations, contributing to increased roughness and reduction of the contact angle, favoring the achievement of a more hydrophilic surface.

Key words: Nanostructured surfaces, Ti6Al4V, Electrochemical polishing, Plasma polymerization.

1. INTRODUÇÃO

Materiais metálicos têm sido utilizados em aplicações biomédicas (ortopédicas e odontológicas) por mais de 50 anos [1]. Especialmente, implantes metálicos de ligas de titânio combinam robustez, aceitável biocompatibilidade e alta resistência à corrosão [2]. O baixo módulo de elasticidade do titânio pode resultar em uma menor resistência ao estresse comparado com outros materiais para implantes, induzindo a regeneração óssea mais rápida e saudável [1].

Uma das propriedades do titânio e suas ligas é a habilidade de influenciar reações redox na interface do tecido, de forma que pode modular o comportamento celular [2]. Contudo, o filme de óxido de titânio formado naturalmente não é efetivamente protetor em alguns ambientes agressivos, devido à baixa espessura do óxido e sua estrutura porosa [2].

Os elementos de liga adicionados ao titânio são classificados como α -estabilizadores (Al, Sn, Ga, Zr) e β -estabilizadores (V, Mo, Nb, Ta, and Cr). Os elementos α -estabilizadores exibem boa performance em altas temperaturas. Dissolvem-se na matriz de titânio, como uma solução sólida de reforço, produzindo uma pequena variação da temperatura de transformação da conformação HCP- α para BCC- β quando aquecida, ou de BCC- β para HCP- α quando resfriada. Contudo, os elementos de liga β -estabilizadores (metais de transição) diminuem a temperatura de transformação da fase, tornando a liga mais quebradiça. Além destes elementos de liga, são adicionados Fe, Cu, Ni, Si e B para melhorar a resistência mecânica e estabilidade química. A liga Ti6Al4V é a mistura da fase $\alpha + \beta$, da qual pode conter de 10 a 50% da fase β na temperatura ambiente [3]. A liga $\alpha + \beta$ pode proporcionar maior resistência à corrosão, dependendo do percentual de cada fase [4].

Embora a fase α torna a liga de titânio mais resistente à corrosão, esta resistência é limitada a baixas temperaturas. Assim a fase β é interessante por possuir alta resistência, baixo módulo de elasticidade, boa resistência à corrosão e excelente biocompatibilidade [4].

Mesmo se um implante possua grande resistência à corrosão, isto pode falhar se o implante tiver baixa tendência à osseointegração, definida como a interação funcional e estrutural, diretamente entre o osso e a superfície do implante. [4].

É reconhecida que a primeira reação vital entre o tecido celular e o implante de qualquer biomaterial é a rejeição. A adaptação biológica destes materiais com os tecidos vivos é essencialmente controlada pela superfície e pelas reações interfaciais entre as substâncias orgânicas e o substrato inorgânico. A superfície pode ser modificada ou alterada de modo favorável para acomodar, facilitar e/ou promover uma maior biofuncionalidade e bioatividade com tratamentos mecânico, químico, térmico, eletroquímico ou a combinação de todos. No caso do titânio, toda sua superfície é coberta com óxido de titânio, com diferentes espessuras, dependendo do tratamento prévio [3]. De acordo com A. Bagno et al. [5], o ataque ácido promove grande modificação na superfície do implante.

1.1 Eletropolimento

Eletropolimento refere-se ao processo eletroquímico, que remove parte do material da superfície metálica. É conhecido também como polimento eletroquímico e polimento eletrolítico. Atua como um tipo específico de eletrólise que envolve a passagem de corrente através de um eletrólito numa célula eletrolítica. O eletropolimento não causa deformação mecânica da camada superficial, como ocorre no polimento mecânico [6].

A peça metálica a ser eletropolida serve como ânodo, e é conectada a um terminal positivo de uma fonte de corrente contínuo com o terminal negativo conectado ao cátodo. O substrato é imerso em um banho de solução eletrolítica com temperatura controlada. A ativação da fonte produz corrente elétrica que passa do ânodo para o cátodo, resultando na oxidação da superfície metálica e remoção das impurezas e irregularidades, das quais são dissolvidas no eletrólito e difusas através do filme eletrolítico até o cátodo, a uma taxa controlada [6, 7].

No cátodo, onde ocorre a reação de redução, do qual normalmente se produz hidrogênio. A quantidade de metal removido depende da composição do eletrólito, temperatura, densidade de corrente e do substrato metálico a ser eletropolido. Geralmente a corrente e o tempo são as duas variáveis controláveis para obter uma superfície acabada reprodutível [6,7].

Os eletrólitos utilizados no eletropolimento são frequentemente soluções ácidas de alta viscosidade, tais como a mistura de ácido sulfúrico e ácido fluorídrico [6].

1.2 Polimerização a plasma

De acordo com Hildebrand & Hornez [8], a concentração normal do Ti no tecido humano é de 0,2 ppm, porém na região próxima ao implante essa concentração chega a passar 2000 ppm. Além disso, o implante de Ti6Al4V não é eletroquimicamente estável, podendo passar por um processo de lixiviação *in situ*, conduzindo um aumento da concentração de alumínio e vanádio nos tecidos, o que é associado à doença de Alzheimer [9,10].

Como forma de proteção do implante, a utilização do processo de polimerização a plasma ou PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition), tem se mostrado favorável no revestimento de superfícies, visto que foi observado em estudos preliminares a melhora da força de ligação do filme ao substrato, da estabilidade química e da biotatividade celular, o qual indica um potencial processo para a aplicação de revestimentos de implantes ortopédicos [11].

As principais vantagens da técnica são a possibilidade de se depositar filmes extremamente finos sobre objetos das mais diferentes formas, sendo que as

alterações produzidas são apenas superficiais, preservando as propriedades substrato [12].

2. MATERIAL E MÉTODOS

As amostras da liga de Ti6Al4V (substrato) foram tratadas com polimento mecânico e polimento eletroquímico, para posterior aplicação do filme de TEOS (tetraetoxissilano - $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$), conforme fluxograma abaixo.

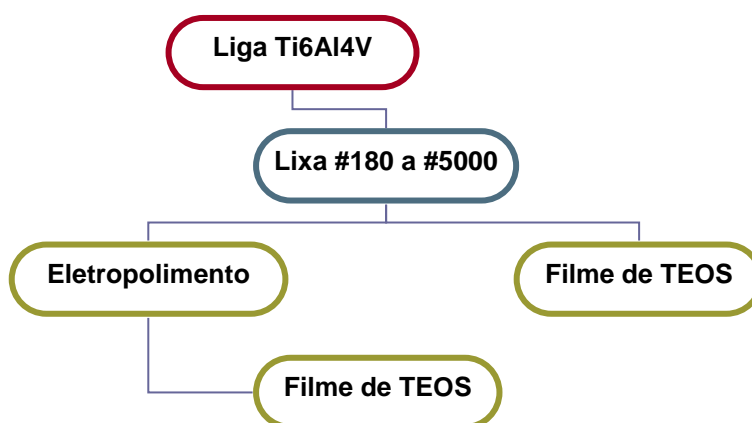


Figura 1. Fluxograma da metodologia utilizada na pesquisa.

Tabela 1. Descrição das amostras avaliadas

L#5000	Amostra lixada até 5000
L#5000-EP	Amostra lixada até 5000 com polimento eletroquímico
L#5000-PP	Amostra lixada até 5000 com aplicação do filme de TEOS
L#5000-EP-PP	Amostra lixada até 5000, polida eletroquimicamente, com aplicação do filme de TEOS

2.1 Substrato (Ti6Al4V)

As amostras do substrato foram obtidas de uma chapa metálica, cortadas em discos de 15 mm de diâmetro. Todas as amostras foram polidas, alternando 90°, com lixas de 180 até 5000 de SiC. Para delimitar a área a ser eletropolida, foi utilizada uma fita cobrindo as bordas, com diâmetro de 9,5 mm de área exposta. Individualmente, as amostras da liga Ti6Al4V foram limpas por 5 min no ultrassom com água deionizada, secas com secador, para posterior limpeza por plasma a ar (potência de 65 W, pressão de 150 μatm por 1 min).

2.2 Eletropolimento

Para o polimento eletroquímico, foi utilizado eletrólito composto por 60% v/v ácido sulfúrico, 30% v/v ácido fluorídrico e 10% v/v glicerina. O sistema para o eletropolimento foi construído a partir de uma fonte, um multímetro, um sistema

controlado de refrigeração do eletrólito, e um computador, para captura de dados de corrente.

Como cátodo utilizou-se uma placa de platina e como ânodo a amostra. O contato elétrico com o ânodo foi feito através de uma haste de cobre no interior de um suporte de PLA, onde a amostra foi posicionada, conforme Figura 2. A área exposta da amostra a ser tratada eletroquimicamente, foi de $0,71 \text{ cm}^2$, ao passo que a área do cátodo (contra-eletrodo) foi de $1,5 \text{ cm}^2$, ambas medidas com valores aproximados. O eletropolimento foi mantido por 4 min, utilizando o eletrólito a $7^\circ\text{C} \pm 0,5^\circ\text{C}$.

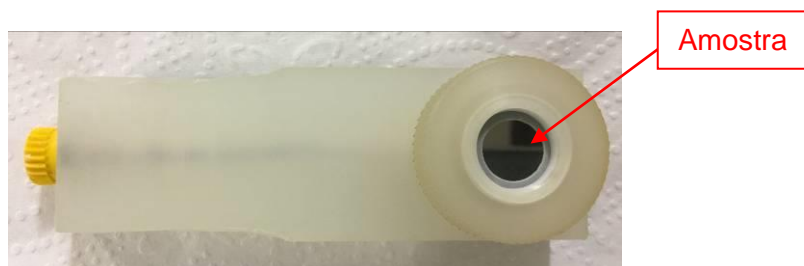


Figura 2. Suporte com a amostra a ser eletropolida.

2.3 Polimerização a plasma

Na polimerização a plasma, foi utilizada a amostra eletroquimicamente polida, como também as amostras lixadas até 5000. A aplicação do filme de silano TEOS (tetraetoxisilano - $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$) ocorreu durante 20 min após atingir o vácuo de $230 \mu\text{atm} \pm 5 \mu\text{atm}$, utilizando como meio, gás argônio de pureza 5.0.

2.4 Caracterização das amostras

Após a polimerização a plasma, a morfologia das amostras de Ti6Al4V foram caracterizadas através das técnicas interferometria óptica, elipsometria espectral, microscopia óptica e microscopia eletrônica de varredura/espectroscopia por energia dispersiva (MEV/EDS). Enquanto que a caracterização quanto à molhabilidade, foi realizada pelo método da gota sésil.

2.4.1 Interferometria Óptica

A rugosidade micrométrica foi determinada utilizando um perfilômetro GT-K. A escala micrométrica da rugosidade da superfície foi determinada pela medição da S_a (Rugosidade Média avaliada sobre a superfície 3D) e a S_z (diferença média entre os cinco picos mais altos e cinco vales mais baixos sobre a superfície 3D).

2.4.2 Elipsometria Espectral

A espessura do filme de TEOS aplicado à superfície do substrato foi determinada pela técnica óptica, elipsometria espectral (SOPRA GES-5E), a qual utiliza a mudança no estado da polarização da luz para a caracterização in situ de filmes finos. A faixa espectral utilizada foi de $0,3500$ a $0,7500 \mu\text{m}$.

2.4.3 Microscopia Óptica

A caracterização morfológica das amostras foi auxiliada por microscopia óptica, antes e após a aplicação do filme de TEOS. As análises de microscopia óptica foram realizadas por meio de um microscópio óptico da marca OLYMPUS CX31.

2.4.4 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Para as imagens obtidas por MEV foi utilizado o modelo ZEISS EVO LS-10 com detector de EDS, modelo BRUKER XFlash Detector 610M. A aceleração de voltagem (EHT) foi de 20kV sob uma corrente de aceleração de 100 pA. A distância de trabalho (WD) e a magnificação (Mag) estão descritas nas imagens.

2.4.5 Molhabilidade (Método da Gota Sésil)

Utilizando o método da gota sésil, a molhabilidade foi avaliada nos quatro sistemas, aplicando solução de Hanks, que simula os fluidos corpóreos, além da água deionizada.

A técnica mede o valor do ângulo de contato formado entre a linha tangente à superfície do líquido e a superfície horizontal do substrato. Quando este ângulo estiver acima de 90° , a superfície é considerada hidrofóbica. Se o ângulo estiver abaixo de 90° , a superfície será chamada de hidrofílica. Segundo E. Burkarter [12], quanto menor o ângulo formado entre a gota e o substrato, mais hidrofílica será a superfície.

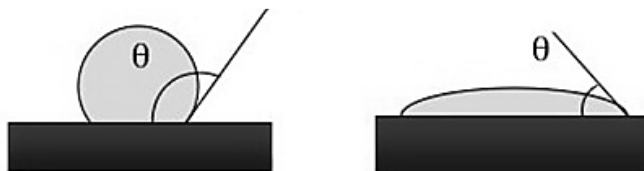


Figura 3. Diferenças no ângulo formado na superfície hidrofóbica à direita, e hidrofílica à esquerda.

Os testes foram realizados com um aparato desenvolvido pelo Laboratório de Pesquisa em Corrosão (LAPEC) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. O ângulo de contato foi determinado por meio de um programa de análise de imagens. Todas as medidas foram realizadas em triplicata.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A reprodutibilidade do processo de eletropolimento pode ser evidenciada pelo transiente de densidade de corrente durante 4 minutos de eletropolimento (Figura 4). Observou-se que após 1 minuto de tratamento eletroquímico, a densidade de corrente atinge um platô de estabilidade, provavelmente associado ao espessamento da camada de óxido sobre a superfície, a qual contribui para a diminuição da densidade de corrente em virtude do aumento da resistência a passagem de corrente elétrica. Além disso, a partir dos resultados do transiente de densidade de corrente se evidencia que todas as amostras eletropolidas foram

reprodutíveis, indicando uma preparação adequada para posterior tratamento por polimerização a plasma.

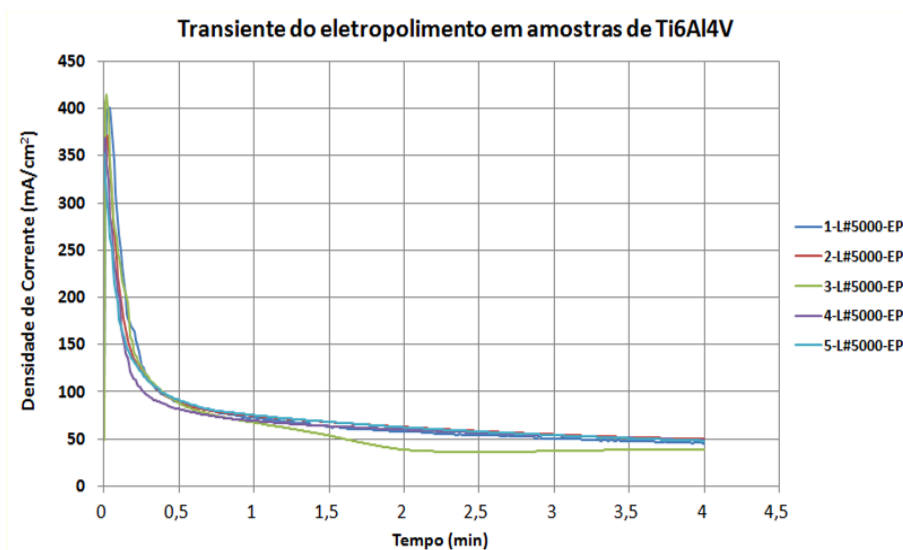


Figura 4. Transiente de densidade de corrente.

Na Figura 5 são apresentadas as imagens por microscopia óptica dos sistemas estudados. A partir de uma análise mais detalhada da superfície, a imagem por microscopia óptica da amostra L#5000-PP (Figura 5b) apresentou uma morfologia com menos sulcos em evidência provenientes do lixamento mecânico, esse comportamento pode estar relacionado com a deposição do filme polimérico a partir do processo de polimerização por plasma. Quando ocorre a deposição da camada polimérica a relação profundidade/pico dos sulcos diminuiu e provavelmente isso está associado à formação do filme polimérico que apresentou espessura na ordem de 10 nm.

Ao analisar a microscopia óptica da amostra eletropolida (Figura 5c) observa-se uma textura sem a presença de sulcos, isso pode estar relacionado ao óxido formado durante o tratamento eletroquímico, o qual provavelmente apresentou um espessamento da camada de óxido, tal comportamento não aparece na amostra somente lixada (Figura 5a) e lixada com polimerização a plasma (Figura 5b). A camada de óxido obtida durante o eletropolimento teve espessura na ordem de 5 nm. Uma textura semelhante ao obtida nesse trabalho já tem sido visualizada por Antonini et al. 2017 [7], como uma superfície nanoestruturada a partir do óxido formado durante o tratamento eletroquímico.

A superfície eletropolida com polimerização por plasma (Figura 5d) se evidenciam que regiões de dissolução da camada de óxido apresentam diâmetro menor, além de ser possível identificar uma coloração mais amarelada sobre a superfície eletropolida, provavelmente associada à deposição do filme polimérico, o qual apresentou uma espessura na ordem de 23 nm. Por análise de elipsometria espectral se verificou que o filme proveniente da polimerização a plasma sobre a superfície eletropolida teve espessura na ordem de 18 nm (Tabela 1), sendo maior do que o filme polimérico formado sobre a superfície lixada. Nesse sentido, fica claro que a superfície eletropolida contribui para a deposição de um filme TEOS com maior espessura.

Tabela 1. Medidas de espessuras de camada pela técnica Elipsometria Espectral.

Sistemas	Espessura (nm)	R ²
L#5000-PP	10,3 ± 0,3	0,863
L#5000-EP	5,3 ± 0,4	0,973
L#5000-EP-PP	23,9 ± 1,5	0,991

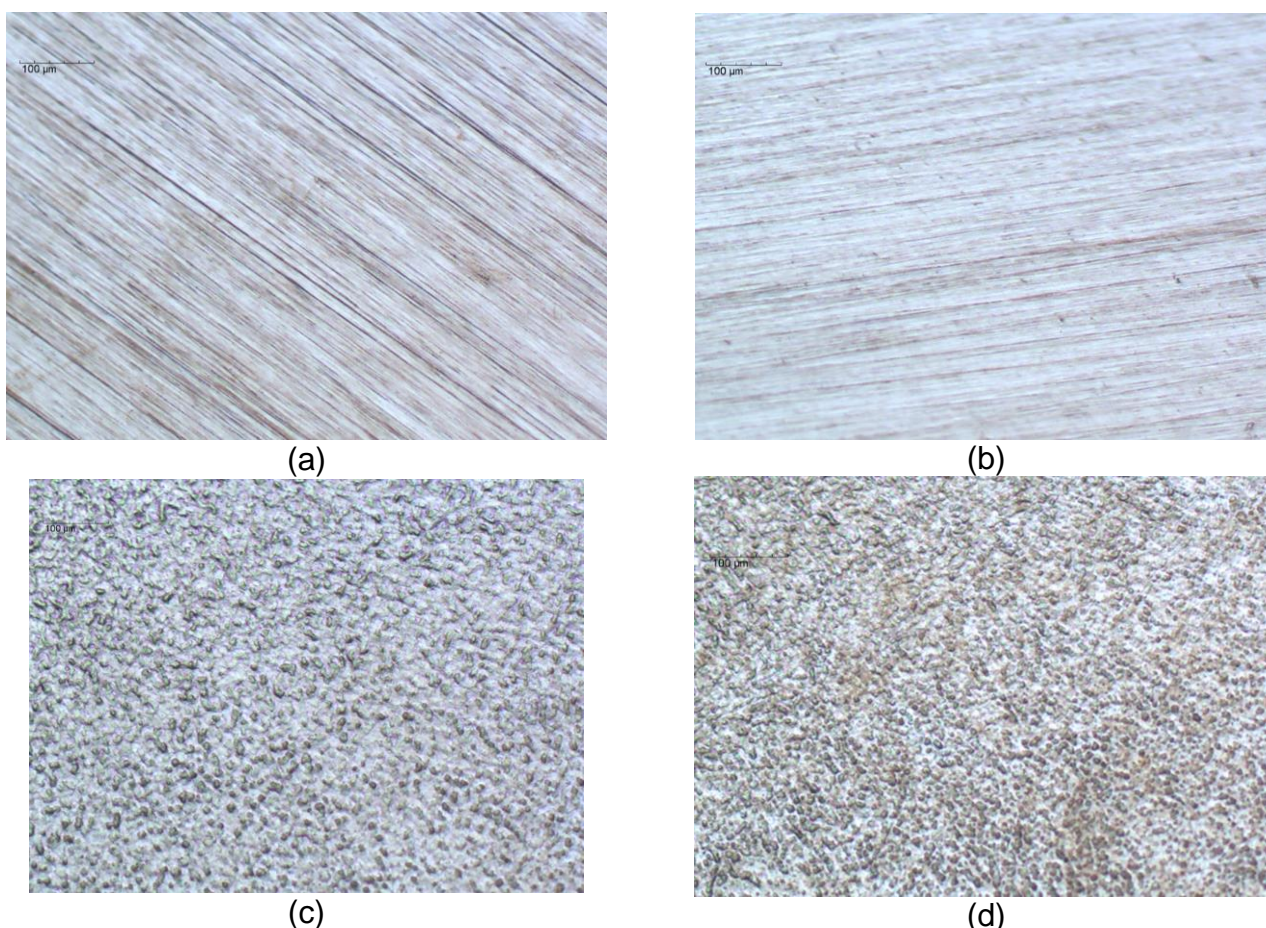


Figura 5 . Imagens do microscópio óptico. Em (a) Superfície lixada até 5000 (L#5000); (b) Superfície lixada até 5000 com aplicação do filme de TEOS (L#5000-PP); (c) Superfície lixada até 5000 e eletropolida (L#5000-EP); e (d) Superfície lixada até 5000 eletropolida com aplicação do filme de TEOS (L#5000-EP-PP).

A partir dos valores obtidos para o ângulo de contato da água e da solução de Hanks em contato com as superfícies (Tabela 2 e Figura 6), foi possível observar a redução significativa do ângulo de contato nas amostras polimerizadas a plasma (L#5000-PP, L#5000-EP-PP), bem como a diminuição do ângulo de contato nas amostras eletropolidas em comparação com as amostras somente lixadas. Isso deixa claro que o processo de polimerização por plasma tornou a superfície lixada e eletropolida mais hidrofílica. De acordo com a literatura, superfícies hidrofílicas favorecem o crescimento celular e apresentam maior biocompatibilidade [13,14].

Tabela 2. Medidas de ângulo de contato com diferentes fluidos.

Sistemas	Água	Hanks
	Média (°)	Média (°)
L#5000	86 ± 7	83 ± 5
L#5000-PP	46 ± 3	56 ± 7
L#5000-EP	77 ± 5	74 ± 7
L#5000-EP-PP	54 ± 6	51 ± 7

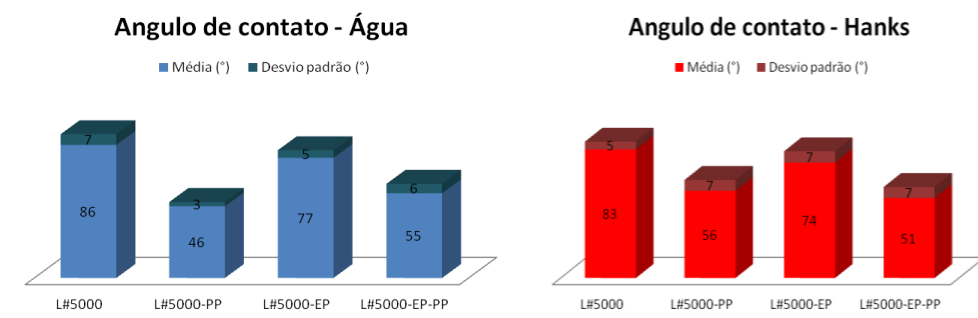


Figura 6. Medidas de ângulo de contato com diferentes fluidos.

Através da técnica MEV-EDS foi possível também confirmar a presença de Si, provavelmente devido à deposição do filme obtido a partir do processo de polimerização empregando o precursor TEOS. Na amostra eletropolida com filme de TEOS depositado por polimerização a plasma L#5000-EP-PP (Figura 7 e 8) foi identificado o elemento Si, ao passo que na amostra somente lixada L#5000-PP, esse elemento não foi observado, isso pode estar associado a menor espessura do filme. Com a presença do Si na superfície eletropolida, verificou-se que a presença possivelmente de nanoestruturas, podem ter favorecido o ancoramento e deposição do filme TEOS.

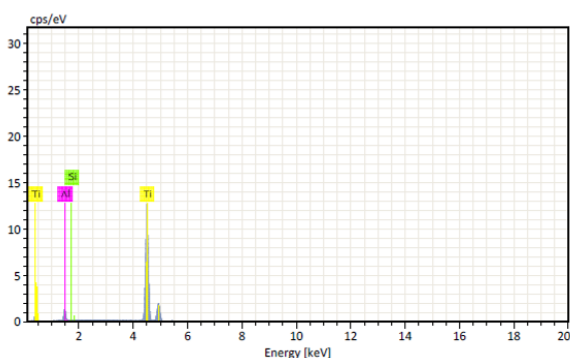


Figura 7. Elementos encontrados na amostra L#5000-EP-PP.

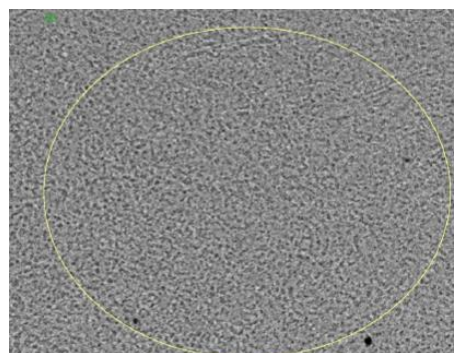


Figura 8. Amostra L#5000-EP-PP. MAG.:546x; HV:20kV; WD 7,2 mm

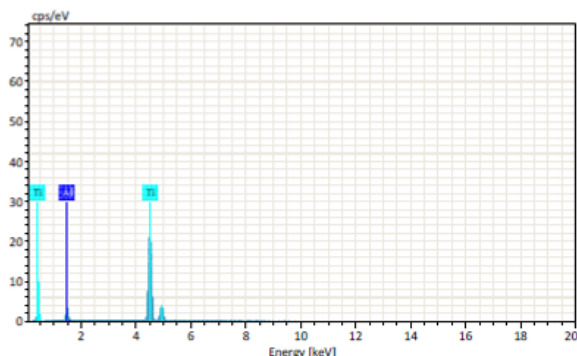


Figura 9. Elementos encontrados na amostra L#5000-PP.

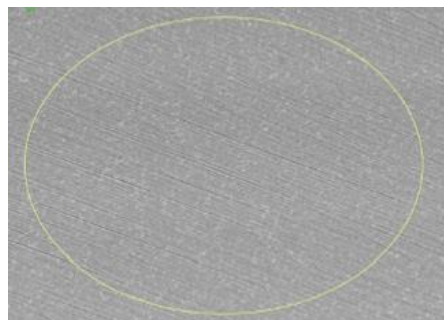


Figura 10. Amostra L#5000-PP. MAG.:1020x; HV:20kV; WD 7.0mm

Os resultados por interferometria óptica (Tabela 3 e Figura 11) mostraram que as amostras eletropolidas (L#5000-EP) e eletropolidas com polimerização por plasma (L#5000-EP-PP) apresentaram maiores valores de rugosidade micrométrica (S_a) do que nas amostras somente lixadas (L#5000) e lixadas com polimerização por plasma (L#5000-PP). O aumento da rugosidade pode estar associado à formação de um filme de óxido durante o tratamento eletroquímico por eletropolimento, tal óxido que sofre também o processo de dissolução para formação das nanocavidades pode ter contribuído para o aumento dos valores de rugosidade. Conforme mostrado por Hallab et al. 2001 [15], o aumento da rugosidade micrométrica contribui para a adesão celular.

Os resultados de rugosidade micrométrica também mostraram que o processo de polimerização por plasma torna as superfícies mais regulares, uma vez que foram evidenciados menores valores de S_z entre a amostra lixada (L#5000) e amostra lixada e polimerizadas por plasma (L#5000-PP). Contudo, não se observa alteração nos valores de rugosidade entre as amostras eletropolidas (L#5000-EP) e eletropolidas com o filme (L#5000-EP-PP), isso pode estar associado à espessura do filme em escala nanométrica.

Tabela 3. Medidas de rugosidade micrométrica

Sistemas	Rugosidade (μm)	
	S_a (μm)	S_z (μm)
L#5000	0,11 \pm 0,01	2,00 \pm 0,22
L#5000-PP	0,09 \pm 0,02	1,42 \pm 0,12
L#5000-EP	0,37 \pm 0,06	4,78 \pm 0,38
L#5000-EP-PP	0,37 \pm 0,05	4,71 \pm 0,25

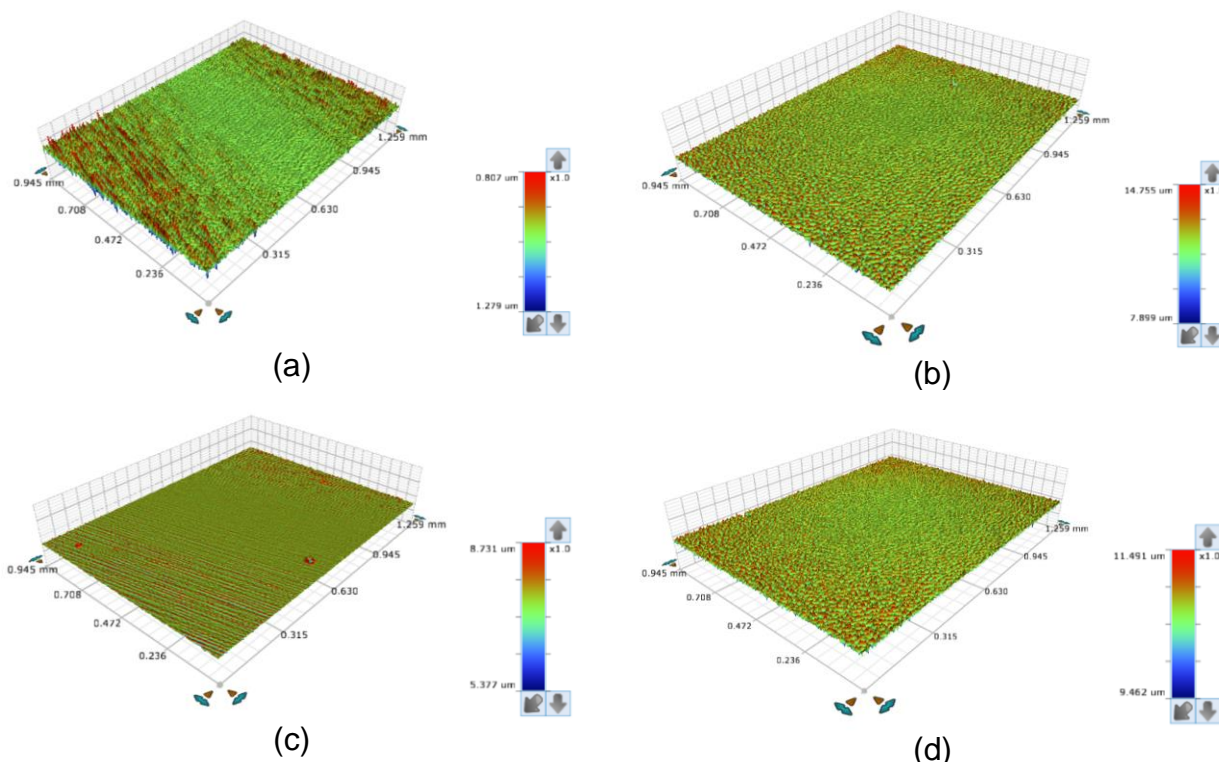


Figura 11. Imagens de interferometria. Amostra (a) L#5000, (b) L#5000-EP, (c) L#5000-PP e (d) L#5000-EP-PP.

4. CONCLUSÃO

O filme de Si depositado por polimerização a plasma sobre a superfície lixada apresentou menor espessura ($10,3 \pm 0,3$ nm) do que o filme depositado sobre a superfície eletropolida, que ficou na ordem de 18 nm. Isso indica que o eletropolimento produziu uma superfície que favoreceu o ancoramento e crescimento do filme de TEOS obtido por deposição por polimerização a plasma.

As amostras polimerizadas por plasma apresentaram menores valores de ângulo de contato quando comparadas as amostras sem polimerização. Isso evidenciou que processo de polimerização contribuiu para obtenção de superfícies mais hidrofílicas.

5. AGRADECIMENTOS

À CAPES, entidade do Governo Federal aplicada no aperfeiçoamento de pessoal em nível superior, pelo suporte no presente trabalho desenvolvido.

6. REFERÊNCIAS

1. M. KULKARNI, A. MAZARE, P. SCHMUKI, A. IGLIČ. Biomaterial surface modification of titanium and titanium alloys for medical applications. Separata de: SEIFALIAN, A.; MEL, A.; KALASKAR (Ed.) Nanomedicine. Londres: One Central Press, (2014), 111-136.

2. BRUNETTE, Donald M.; TENGVALL, Pentti; TEXTOR, Marcus; THOMSEN, Peter Titanium in Medicine. Material Science, Surface Science, Engineering, Biological Responses and Medical Applications, 1. ed. Vancouver: Ed. Springer, 2001.
3. OSHIDA, Yoshiki. Bioscience and Bioengineering of Titanium Materials. 1st ed Oxford: Elsevier; 2007.
4. C. S. D. Lopes, M. T. Donato, P. Ramgi. Comparative Corrosion Behavior of Titanium Alloys. (Ti-15Mo and Ti-6Al-4V) for Dental Implants Applications: a Review, *Corrosão e Proteção de Materiais*. 35 (2016) 5-14.
5. A. Bagno, C.D. Bello. Surface treatments and roughness properties of Ti-based biomaterials. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine* (2004)935-949.
6. G. Yang, B. Wang, K. Tawfiq, H. Wei, S. Zhou & G. Chen. Electropolishing of surfaces: theory and applications, *Surface Engineering* (2016) 1-19.
7. ANTONINI, Leonardo Marasca. Avaliação do efeito de superfícies nanoestruturadas de Ti6Al4V na indução da osteogênese de células-tronco mesenquimais derivadas de medula óssea murina. (Tese de Doutorado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2016.
8. H. HILDEBRAND, H.; HORNEZ, J. Biological response and biocompatibility. Separata de: J. A. Helsen & H. J. Breme (Ed.). *Metals as biomaterials (Série Biomaterials Science and Engineering)*. Chichester, UK: Wiley (1998) 265-290
9. B. Zhao, H. Wang, N. Qiao, C. Wang and M. Hu, Mater. Corrosion resistance characteristics of a Ti-6Al-4V alloy scaffold that is fabricated by electron beam melting and selective laser melting for implantation in vivo, *Materials Science and Engineering* (2017) 832-841.
10. J. Martins, Jr., R. Araújo, T. Donato, V. Arana-Chavez, M. Buzalaf and C. Grandini. Influence of Oxygen Content and Microstructure on the Mechanical Properties and Biocompatibility of Ti–15 wt% Mo Alloy Used for Biomedical Applications, *Materials (Basel)*, (2014) 232-243.
11. C. Wu, Y. Ramaswamy, X. Liu, G. Wang, H. Zreiqat. Plasma-sprayed CaTiSiO₅ ceramic coating on Ti-6Al-4V with excellent bonding strength, stability and cellular bioactivity, *Journal of the Royal Society Interface* (2009), 159-168.
12. BURKARTER. E. Construção de imagens por padrões hidrofóbico/hidrofílico. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2006.

13. X. Zhu, J. Chen, L. Scheideler, R. Reichl, J. Gerstorfer. Effects of topography and composition of titanium surface oxides on osteoblast responses. *Biomaterials* (2004) 4087-4103.
14. L. L. Guéhenec, A. Soueidan, P. Layrolle, Y. Amouriq. Surface treatments of titanium dental implants for rapid osseointegration. *Dental Materials* (2007) 844-854.
15. N. J Hallab, K. J. Bundy, K. O'Connor, R. L. Moses, J. Jacobs. Evaluation of Metallic and Polymeric Biomaterial Surface Energy and Surface Roughness Characteristics for Directed Cell Adhesion. *Tissue Engineering* (2001) 55–71.

ENSAIO DE PERMEABILIDADE EM PEÇAS SINTERIZADAS

de Souza, V. M.¹
Martins, V.²
Souza, P.³
Wurzel, C, A⁴
Tubino, R. M.C.⁵

- ¹ Mestre, Vanessa Moura de Souza, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, moura.souza@ufrgs.br.
- ² Doutor, Vinicius Martins, Instituto Federal Sul Rio-grandense, vinicius.martis@sapucaia.ifsul.edu.br.
- ³ Estudante de Engenharia Mecânica, Pedro Souza, Instituto Federal Sul Rio-grandense, souza.pedroh@gmail.com
- ⁴ Mestre, Carlos Alexandre Wurzel, Instituto Federal Sul Rio-grandense, wurzel@sapucaia.ifsul.edu.br.
- ⁵ Doutora, nome Rejane Maria Candiota Tubino, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, rejane.tubino@ufrgs.br.

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

Resumo

Permeabilidade é dita como a capacidade de um gás ou um fluido passar por um material. Conforme o processo de fabricação ocorre uma variação do tipo de permeabilidade na peça produzida. A utilização e estudos de filtros porosos data por volta do final dos anos 20 com os filtros produzidos de bronze. Foi em 1896, que D'Arcy, na França, estudou o fluxo da água passando por camadas de diversas espessuras de areia, descrevendo em formula o princípio. Desde então, não existe uma norma específica para ensaios de permeabilidade em peças sinterizadas na utilização de filtros. Este artigo tem como objetivo trazer uma metodologia de apoio para realização de um ensaio de permeabilidade. Foi realizado um dispositivo para suspender amostras e mensurar o tempo que levaria para escoar 10 ml de água com o auxílio da gravidade com amostras de diferentes pressões de compactação. A porosidade de filtro deve variar entre 20% a 50% do total do material compactado e afeta diretamente no comportamento do pó e no produto acabado por isso a importância de um teste padronizado de fácil acesso.

Palavras-chave: Permeabilidade; Ensaio; Sinterização.

PERMEABILITY TEST ON SINTERED PARTS

Abstract

Permeability is said to be the ability of a gas or a fluid to pass through a material. Depending on the manufacturing process, there is a variation of the type of permeability in the part produced. The use and studies of porous filters dates back to the late 1920s with the brass filters produced. It was in 1896 that D'Arcy, in France, studied the flow of water through layers of various sand thicknesses, describing in principle the formula. Since then, there is no specific standard for permeability testing on sintered parts in the use of filters. This article aims to provide a support methodology for conducting a permeability test. A device was used to suspend samples and measure the time it would take to leak 10 ml of water with the aid of gravity with samples of different compaction pressures. The porosity of the filter

should vary between 20% and 50% of the total compacted material and directly affects the behavior of the powder and the finished product, so the importance of a standardized test

Key words: Permeability; Test; Sintering.

1 INTRODUÇÃO

Permeabilidade é a capacidade de um gás ou um fluido passar por um material. Esta associada à uma passagem de um fluido com uma viscosidade conhecida, através de uma área e espessura unitárias de uma camada porosa. Os estudos nesse sentido, iniciaram 1896, quando o cientista D'Arcy, na França, analisou o fluxo da água passando por camadas de diversas espessuras de areia, descrevendo em formula o princípio básico da permeabilidade conforme apresentada pela Equação 1 ⁽¹⁾.

$$\Delta P/\varepsilon = Q \cdot \eta / A \cdot \psi \quad (1)$$

Onde ΔP representa a variação da queda de pressão, em PA, e ε é a espessura da amostra, em m. Q é a vazão do fluido, em m³/s e η representa viscosidade dinâmica do fluido (kg/m.s) e ψ é coeficiente de permeabilidade viscoso ⁽²⁾.

Filtros encontram aplicações em vários campos: indústria farmacêutica, indústria siderúrgica, indústria de bebidas, processamento de alimentos, purificação de água, filtragem de lubrificantes, aparelhos médicos, filtragem de gases, dentre outros. Filtros cerâmicos encontram nichos de aplicações aonde seja requerido inércia química, temperaturas elevadas, lavagem reversa e altas pressões de filtração. Considerando-se o tamanho dos poros da membrana filtrante os filtros são classificados como mostra a Figura 1 ⁽³⁾.

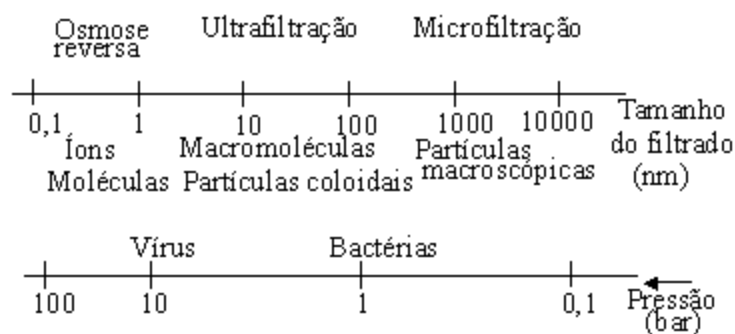


Figura 1. Classificação dos processos de separação, tamanho do filtrado e pressão aplicada

Conforme o processo de fabricação ocorre uma variação do tipo de permeabilidade. A funcionalidade de produto filtrante, muitas vezes, é representada em termos de permeabilidade e resistência mecânica. Por isso, o conhecimento da permeabilidade em filtros é de fundamental importância para o seu funcionamento.

O filtro poroso é um produto comercial muito utilizado em indústrias química, petroquímica, siderurgia, hospitais, farmacêutica, alimentos, bebidas, entre outras, no processo de separação de gases, de líquidos, filtração, aeração, dispersão ⁽⁴⁾. O processo de conformação de pós é importante porque define propriedades e características que terão intensos reflexos nos processos subsequentes e no produto final. No caso dos filtros procura-se uma combinação adequada entre o volume total e a distribuição de tamanho de poros presentes. Tais características definem a permeabilidade e por consequência a utilização do produto. Para se conseguir tais combinações devem-se ter um bom conhecimento das propriedades do pó, dentre elas é possível citar: pureza e composição química; morfologia e distribuição de tamanho das partículas; porosidade da partícula; aditivos e lubrificantes; densidade aparente; escoabilidade; área superficial específica; compressibilidade^(5,6). Conhecendo essas propriedades é possível estabelecer parâmetros de processo para obtenção dos filtros metálicos porosos com as características voltadas à aplicações específicas. Para verificação de todas essas características há pelo menos um ensaio porém para a permeabilidade há somente a ISO 4022 ⁽⁷⁾ que indica etapas complexas e o uso de um permeâmetro, que tem um alto custo de investimento. Com isto, este trabalho trata do desenvolvimento de um dispositivo, acessível em termos financeiros e educacionais, para auxiliar a análise de permeabilidade de peças sinterizadas, ou seja, o objetivo desta pesquisa é criar um roteiro de padronização de ensaio de permeabilidade do sinterizado.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foi usado um dispositivo para fixação de peças para a solicitação de escoamento forçada de 10 ml de água para determinar se existiria a ultrapassagem do fluido e mensurar o tempo necessário para que o fluido atravessasse a amostra. O dispositivo foi usado em material polimérico conforme as dimensões e desenho abaixo, Figura 2:

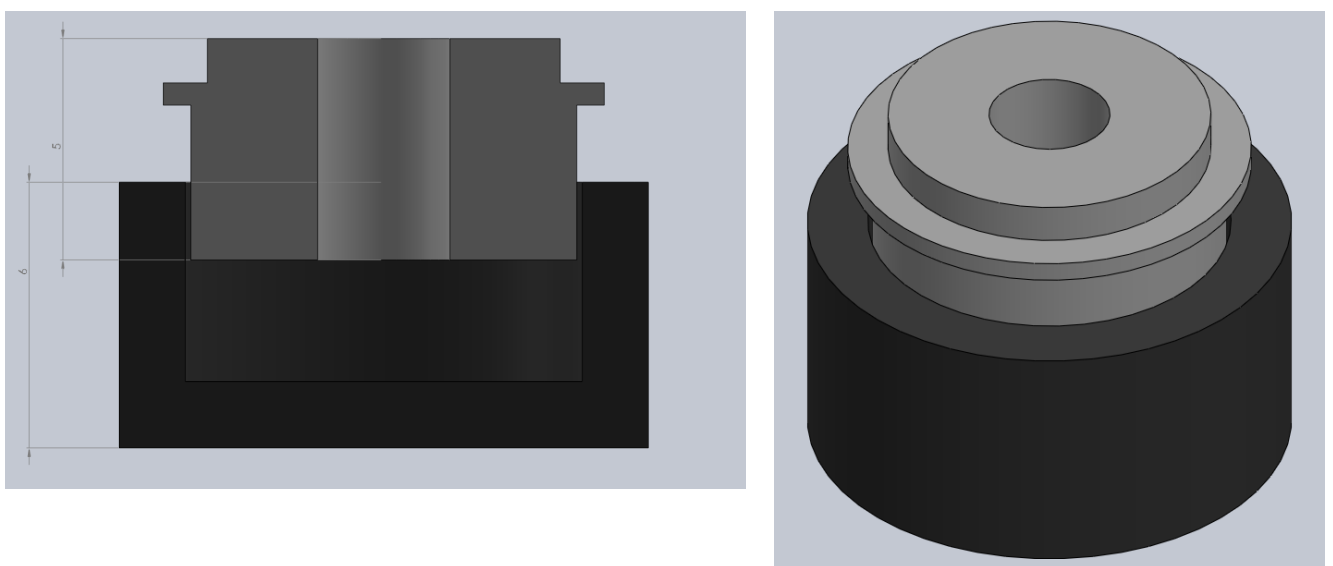


Figura 2. Dispositivo para ensaio de permeabilidade

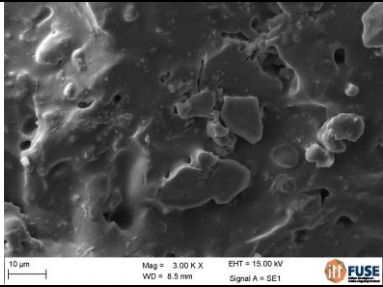
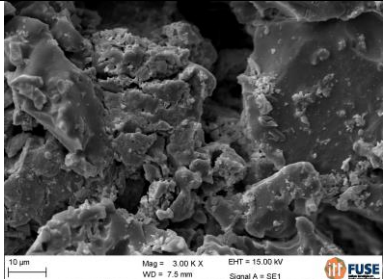
O dispositivo foi desenvolvido com um design simples, porém com a eficiência necessária: suporte para amostras sinterizadas e um pequeno escoamento interno para facilitar a solicitação de escoamento. Atendendo assim, um dos objetivos desse trabalho que é trazer acessibilidade em termos de custos e simplicidade na aplicação do ensaio de permeabilidade.

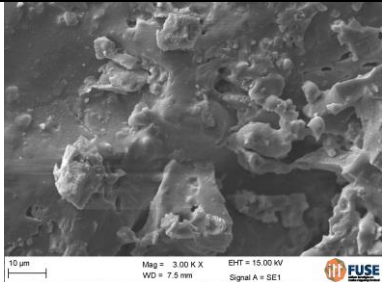
A análise foi realizada em 6 amostras sinterizadas no patamar de 1200 °C com pressões de compactação entre 300 Mpa e 1000Mpa. As amostras comprimidas com pressões abaixo de 250 MPa, não possuíam condições para serem comparadas uma vez que ambas ultrapassaram o limite de compressibilidade, causando assim diferenças nos dimensionais e massas dessas amostras, ou seja, não demonstraram um resultado satisfatório na sinterização. Cada amostra foi suspensa para que fosse mensurado o tempo que levaria para escoar 10 ml de água com o auxílio da gravidade através das amostras de diferentes pressões de compactação.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

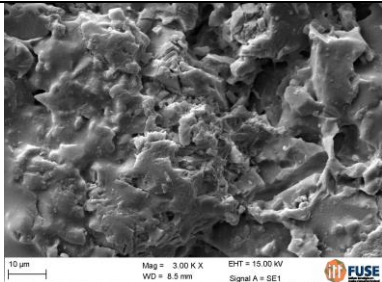
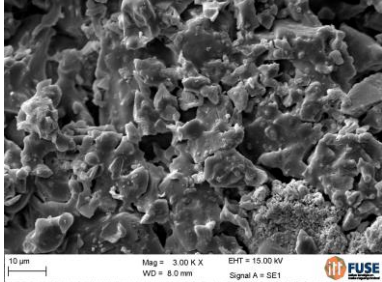
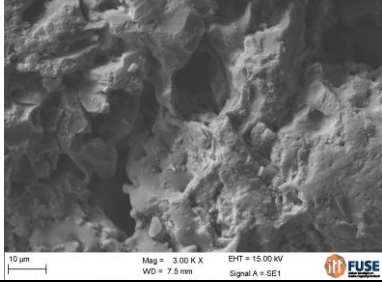
Durante o teste de permeabilidade, as amostras sinterizadas foram submetidas à solicitação de escoamento de 20 ml de água para determinar se existiria a ultrapassagem do fluido e mensurar o tempo necessário para que o fluido atravessasse a amostra. A Tabela 1 exibe os resultados obtidos durante os testes de permeabilidade.

Tabela 1. Tempo para atravessar 20 ml de água através da amostra.

Granulometria 120 mesh – granulometria grosseira			
Compressão (MPa)	Tempo - 20 ml	Densidade	MEV
3G - 300	20 hs 07 min	1,71	
7G - 700	25 horas 30 min	1,94	

10G - 1000	48 horas 20 min	1,93	
------------	-----------------	------	---

**Granulometria 400 mesh –
granulometria fina**

Compressão (MPa)	Tempo - 20 ml	Densidade	MEV
3F - 300	63 horas 20 min	1,71	
5F - 500	84 horas 10 min	1,85	
7F - 700	36 horas 35 min	1,81	

Fica evidenciado com o teste de permeabilidade, o possível uso do pó de pitcher compactado e sinterizado para a fabricação de filtros. Suas finalidades e utilizações podem variar conforme a pressão utilizada para a compactação do pó e as diferentes geometrias possíveis para a fabricação do filtro desejado.

O longo tempo necessário para atravessar as amostras indica a capacidade do filtro de reter partículas muito pequenas. Por outro lado, mostra a necessidade da criação de geometrias que acelerem a passagem do fluido para que o filtro se torne economicamente viável.

Sabe-se que os tempos maiores de escoamento do líquido evidenciam a presença de poros menores na estrutura da peça, o que conseqüentemente acaba influenciando na passagem do fluido ⁽⁸⁾. Sendo indicado, então, o uso de maiores pressões para a filtragem de menores impurezas e menores pressões para uma filtragem mais rápida e conseqüentemente mais econômica.

Além disso, percebe-se que para filtros de esgoto, por exemplo, onde é necessário escoamento mais rápido do efluente e filtragem de resíduos grosseiros, a amostra mais indicada seria a 3G onde teve o menor tempo de escoamento de 20ml de água, isso significa que apesar do MEV demonstrar imagens com pouca quantidade de poros, estes foram conexos do início ao fim da amostra.

Já com a amostra 5F foi obtido os valores de tempo em hora mais longos no ensaio de permeabilidade, o que seria indicado para filtragem mais precisas e retenção de pequenas partículas, como os de filtros de barro para consumo de água residencial, isso significa que apesar do MEV demonstrar imagens com grande quantidade de poros, estes foram desconexos, apenas superficiais na amostra.

Observa-se também que as amostras do lote de 400 MESH não seguiram um padrão de porosidade e tempo de escoamento, devido a sua granulometria fina acredita-se que ocorreu uma falta de poros interconectados, ademais, devido a compactação à verde e análise dos gráficos de compressibilidade, presumiu-se que a amostra de código 7F ultrapassou o limite da compressibilidade, apresentando trincas na sua estrutura, o que poderia ter causado a diminuição do tempo de escoamento da água.

4 CONCLUSÃO

Com base nos resultados deste artigo, verifica-se a contemplação do objetivo proposto que foi a de realizar um dispositivo para facilitar o ensaio de permeabilidade além de trazer os principais objetivos e critérios solicitados na norma ISO 4022 afim de facilitar o entendimento e aplicação em trabalhos relacionados a filtros sintetizados.

O pitcher sinterizado apresentou uma boa permeabilidade para que seja utilizado como filtro para a retenção de pequenas partículas. Onde menores pressões de compactação resultam em um material mais permeável e logo mais econômico. Por outro lado, materiais com maiores pressões de compactação são capazes de reter partículas menores devido ao fato de possuírem poros menores. Para uma maior velocidade de filtração se faz necessário o estudo de diferentes geometrias e misturas para os filtros.

REFERÊNCIAS

- 1 SALVINI, V. R.; INNOCENTINI, M. D. M.; PANDOLFELLI, V. C. Influência das condições de processamento cerâmico na resistência mecânica e na permeabilidade dos filtros de Al₂O₃-SiC Influence of ceramic processing on the

- mechanical resistance and permeability of filters in the Al₂O₃-SiC system. **Cerâmica**, v. 48, n. 307, p. 121-125, 2002.
- 2 GRUPO SETORIAL DE METALURGIA DO PÓ - A Metalurgia do Pó: alternativa econômica com menor impacto ambiental - Metallum Eventos Técnicos, São Paulo - SP, 2009
 - 3 DE SOUZA, M. F. et al. Ultrafiltro de alumina. **Cerâmica**, v. 45, n. 292-293, p. 68-74, 1999.
 - 4 Karsokas et al Influência de Parâmetros Como: Distribuição e Tamanho de Partículas e Pressão de Compactação na Porosidade de Compactos a Verde de Aço Inoxidável para Fabricação de Filtros. Boletim Técnico Fatec SP, 2017.
 - 5 THIESEN, Geraldo Tadeu da Silva. Influência da cinza pesada e do pó de ferro em compósitos sinterizados obtidos por metalurgia do pó e aplicados como meio de suporte em filtro biológico percolador. Dissertação UFRGS, 2018.
 - 6 14 CHIAVERINI, Vicente. **Metalurgia do pó**. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2001.
 - 7 ISO, DIN. 4022: Permeable sinter metals-evaluation of the specific permeability. 1990.
 - 8 MARTINS, Vinícius. Estudo das propriedades mecânicas dos compósitos WC-6Co, WC-10Co, WC-20Co, WC-6Co-6Ni, WC-6Co-12Ni obtidos por metalurgia do pó convencional para aplicação em anéis de selos mecânicos. Dissertação UFRGS, 2010.

ESTUDO COMPARATIVO DE ABSORÇÃO DE UMIDADE ENTRE HIDROGÉIS À BASE DE POLI (ÁLCOOL VINÍLICO) COM DIFERENTES TEORES DE ÁCIDO CÍTRICO

Santos, F. L.¹
Pittol, L. C.²
Santana, R. M. C.³

- ¹ *Graduanda em Engenharia de Materiais, Fernanda Leal dos Santos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), fernandalealdossantos@outlook.com.*
- ² *Mestranda em Engenharia de Materiais, Letícia Capalonga Pittol, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), leticia.pittol@ufrgs.br.*
- ³ *Profª, Dra. Ruth Marlene Campomanes Santana, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), ruth.santana@ufrgs.br.*

Resumo

Hidrogéis são estruturas poliméricas altamente reticuladas e hidrofílicas, que, em presença de grandes quantidades de água ou outros fluidos podem intumescer, absorvendo-os. Estes materiais podem ser aplicados em diversos campos, desde a biomedicina à agricultura. Dessa forma, o objetivo deste trabalho é determinar a influência de diferentes concentrações de ácido cítrico (AC) como agente reticulante em hidrogéis de poli (álcool vinílico) (PVA), monitorando-se a variação da absorção de umidade. Para a elaboração dos filmes via casting, o PVA foi previamente dissolvido em água deionizada/destilada, na concentração de 4wt%, e, após aquecimento e incorporação com o AC (0, 0,4 e 1,2 wt%), vertido em placas de poliestireno para secagem em estufa a 60°C por 16h. Após, foram submetidos à umidade relativa de 75% e 97% e a massa das amostras monitorada em intervalos de 1h até a quinta hora. Resultados mostraram que o nível de reticulação e o teor de umidade relativa influencia a quantidade de água que é absorvida pelo material. O hidrogel com 1,2 wt% de agente reticulante absorveu menos umidade que o hidrogel com 0,4 wt% devido a sua maior reticulação. As amostras expostas à maior umidade relativa absorveram água mais rapidamente, ao passo que o filme com 0 wt% AC demonstrou tendência à dissolução, devido à ausência de reticulação.

Palavras-chave: Ácido cítrico; PVA; Absorção de umidade.

COMPARATIVE STUDY OF HUMIDITY ABSORPTION AMONG POLYVINYL ALCOHOL-BASED HYDROGELS WITH DIFFERENT CITRIC ACID CONTENTS

Abstract

Hydrogels are highly reticulated and hydrophilic polymeric structures that can swell in presence of large amounts of water or other fluids, absorbing them. These materials can be used in different areas, from biomedicine to agriculture. Thus, the objective of this paper is to determine the influence of different citric acid (CA) concentrations, as a reticulant agent in polyvinyl alcohol (PVA) hydrogels, monitoring the variation of the humidity absorption. In order to elaborate the films by the casting process, PVA was previously dissolved in distilled water, using the concentration of 4 wt% and, after

heating and mixing with CA (0, 0,4 and 1,2 wt%), poured in polystyrene plates. The films were dried in the oven at 60°C for 16 hours. Afterwards, they were submitted to the relative humidity of 75% and 97% and the samples' weight was monitored every hour until the 5th hour. Results show that, compared to the hydrogel samples with 0,4 wt% and 1,2 wt% CA, the sample with 0 wt% CA absorbed more water. This behavior was expected because of its hydrophilicity and lack of reticulation, also showing that it tends to dissolve after reaching its saturation. Regarding the relative humidity, it was observed that hydrogels have the capacity of absorbing fluids and this effect increases with the increase of the relative humidity to which the films are exposed.

Key words: Hydrogels; Citric acid; PVA; Humidity absorption.

1 INTRODUÇÃO

Hidrogéis correspondem a estruturas poliméricas com capacidade de intumescer e absorver grande quantidade de fluidos, mantendo sua integridade, de acordo com Pereira ⁽¹⁾. Por sua vez, a estabilidade dimensional em presença de fluidos é garantida pela reticulação da estrutura ⁽²⁾.

Tais propriedades dos hidrogéis fazem com que sejam materiais utilizados nos mais diversos campos de aplicação, como em cosméticos ^(3, 4), na agricultura ^(5,6), e, principalmente, na biomedicina ⁽⁷⁻¹¹⁾, devido à possibilidade de ser obtido a partir de matérias primas biocompatíveis. A fácil adaptação dos filmes ao corpo humano permite que sejam empregados como meios para crescimento celular ⁽⁹⁾, cura de queimaduras ⁽¹⁰⁾, além de liberação controlada de medicamentos ^(1,11).

O poli(álcool vinílico) (PVA) é uma resina sintética e solúvel em água, amplamente utilizada em todo o mundo. Suas propriedades de degradabilidade e atoxicidade permitem a aplicação em biomedicina ⁽¹²⁾, entretanto, pelo baixo teor de reticulação, suas propriedades mecânicas não são elevadas.

Dessa forma, a criação de ligações covalentes entre as cadeias de PVA se faz imprescindível para melhorar a estabilidade dos filmes. A adição de ácido cítrico ao PVA envolve ataque nucleofílico das moléculas do polímero, provocando a formação de ligações covalentes adicionais. Essa reação pode ser acelerada com o emprego de um catalisador ácido ⁽¹³⁾.

Para este trabalho foram produzidos hidrogéis à base de PVA e diferentes teores de ácido cítrico (AC), utilizado como agente reticulante, com o objetivo de avaliar a influência do nível de reticulação na absorção de umidade dos, a partir do monitoramento, de hora em hora, da massa das amostras expostas à umidade de 75% e 98%, visando caracterizá-los e estabelecer uma relação com sua potencial aplicação biomédica. Foram comparados também hidrogéis reticulados adequadamente com outros degradados.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 MATERIAIS

Para a produção dos filmes via *casting*, foram utilizados ácido cítrico anidro (AC), poli(álcool vinílico) (PVA) fornecidos pela Neon, solução de ácido clorídrico 1M e água destilada e deionizada. Foram preparadas soluções de PVA 4%wt com concentrações mássicas de AC de 0, 0,4 e 1,2% de modo a se obter filmes após a secagem.

Para os ensaios de absorção de umidade, foram utilizados cloreto de sódio (NaCl), sulfeto de potássio (K₂SO₄) e água deionizada. O NaCl em água garante umidade relativa de 75% e o K₂SO₄, 97% em temperatura de 25°C a 30°C.

Comentado [FLdS1]: Procurar o artigo das umidade

2.2 MÉTODOS

2.2.1 PREPARO DOS FILMES

Inicialmente, a solução de PVA foi preparada pela dissolução do reagente em água destilada e deionizada, adicionando-se lentamente o reagente à água, inicialmente à temperatura ambiente, sob agitação. Após a dispersão do PVA, o sistema foi levado ao aquecimento, sendo mantido em 85° ±5°C, ainda sob agitação constante, em chapa IKA C–MAG HS7 até total dissolução.

Os filmes de hidrogéis foram então preparados incorporando-se 40g da solução de PVA a X gramas de AC, previamente dissolvido em água destilada e deionizada (as quantidades X de AC dependeram do nível de reticulação desejado). Para catalisar a reação, foi adicionado 0,75 mL de solução de ácido clorídrico 1M (o volume de catalisador foi determinado previamente, pelo estudo experimental de diversos volumes a fim de se utilizar a menor quantidade possível). As soluções foram levadas à aquecimento e agitação constantes e, mantidas a 85° ±5°C por 20 minutos. Os filmes foram vertidos em placas de Petri de poliestireno (PS) e levados à estufa a 60°C para secagem por 16h. Na tabela 1 são detalhadas as concentrações dos componentes usados no processo de reticulação e as condições de secagem para obtenção dos filmes de hidrogel de PVA.

Tabela 1: Composições e condições do processo *casting* para obtenção dos filmes preparados

Amostra	Componentes			Secagem (<i>casting</i>)	
	PVA (%wt)	AC (%wt)	HCl 1M (mL)	T estufa (°C)	Tempo em estufa (h)
1	4	-	-	60	16
2	4	0,4	0,75	60	16
3	4	1,2	0,75	60	16

2.2.2 CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES

Após a retirada dos filmes da estufa, estes foram mantidos em dessecador por 24h, para então serem acondicionados em recipientes herméticos na presença de solução saturada de cloreto de sódio (NaCl) e de sulfeto de potássio (K₂SO₄), como mostradas na Figura 1. A solução de NaCl saturado em água mantém a umidade do sistema constante na faixa de 75% UR e o K₂SO₄ mantém a umidade

em 97% ⁽¹⁴⁾, ⁽¹⁵⁾. As amostras foram então pesadas em intervalos de 1 hora, durante 5 horas.



Figura 1. Sistema amostras + solução saturada de NaCl nos recipientes herméticos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os filmes de PVA/AC, produzidos via *casting*, apresentaram-se transparentes, homogêneos e flexíveis. Todos os filmes foram facilmente retirados das placas de PS. A Figura 2 traz as imagens das amostras obtidas após secagem.

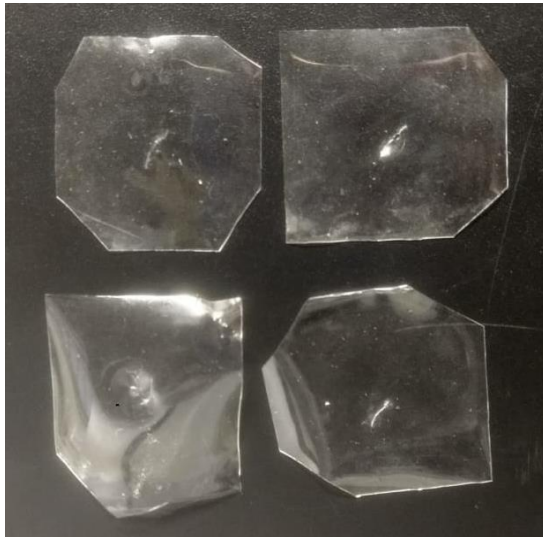


Figura 2. Filmes obtidos via *casting* (após secagem).

3.1 ABSORÇÃO DE UMIDADE

De forma geral, todos os filmes expostos à atmosfera de 75% UR (solução saturada de NaCl) e de 97% UR (solução saturada de K₂SO₄) apresentaram incremento na massa em relação à massa do filme seco, tendo algumas variações dentro do período.

A Figura 3 traz a análise do seguimento da absorção a umidade de 3 amostras em atmosfera de 75% de UR.

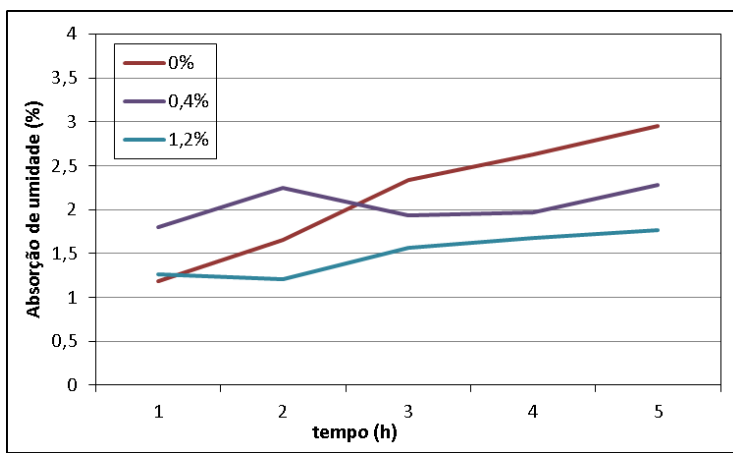


Figura 3. Seguimento da absorção de umidade para as amostras de 0, 0,4 e 1,2 wt% AC em atmosfera de UR controlada de 75% com solução de NaCl.

Observa-se que a amostra de hidrogel sem agente reticulante (0 wt% AC), absorveu mais umidade (linha vermelha) do que aquelas contendo ácido cítrico (linhas azul e roxa). Em teores elevados de umidade, filmes de PVA tendem a se dissolver. Isso acontece devido à falta de reticulação na sua estrutura⁽¹³⁾, pois é ela que garante a insolubilidade do material, visto que o segmento hidrofílico (PVA) é solúvel em água. Também é observado que quanto maior a concentração de AC, menor é a absorção a umidade, resultado que vai ao encontro ao teor de reticulação dos filmes.

A Figura 4 traz o seguimento dos ensaios de absorção de umidade nas atmosferas de UR de 75% e 97% (NaCl e K₂SO₄). Pode-se observar que os hidrogéis absorvem água mais rapidamente em atmosferas com umidade relativas maiores, e que, de maneira geral, continuam absorvendo ao longo do tempo.

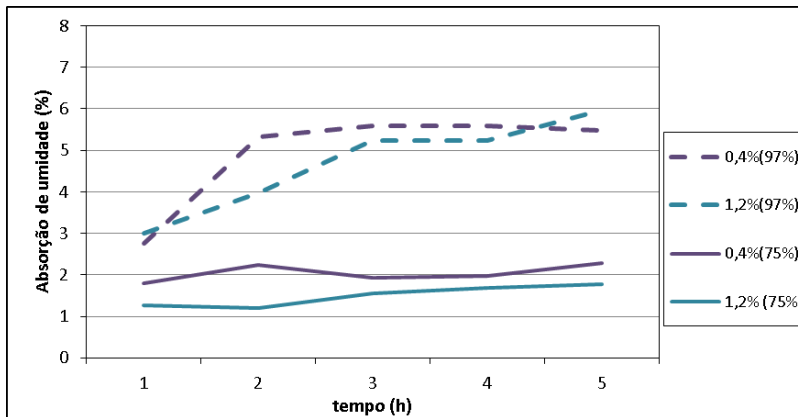


Figura 4. Seguimento da absorção de umidade em atmosfera de UR de 75% e 97% (soluções de NaCl e K₂SO₄) das amostras de hidrogéis com 0,4 e 1,2%wt de AC.

Comparando-se as amostras de 0,4 e 1,2 wt% de agente reticulante (AC), é possível perceber que, independente da umidade relativa da atmosfera, o nível de reticulação interfere na quantidade de umidade absorvida. As amostras com menor teor de AC (menor nível de reticulação) apresentaram valores maiores de absorção de água.

4 CONCLUSÃO

Pôde-se concluir que os hidrogéis mais reticulados possuem menor capacidade de absorção de umidade. Em contrapartida, o filme não reticulado (0 wt% AC) absorveu muito mais água do meio, o que era esperado por ser hidrofílico e solúvel em água, tendendo a dissolver com o passar do tempo. Em relação às umidades relativas, foi evidenciado que os hidrogéis têm a capacidade de absorver fluidos e que esse efeito aumenta com o aumento da umidade relativa a que ele se encontra exposto.

Agradecimentos

Agradecemos à CAPES-PROEX pelo apoio financeiro. À UFRGS pela infraestrutura.

REFERÊNCIAS

- 1 PEREIRA, B. M. Hidrogéis de Poli(álcool vinílico): efeito da densidade de reticulação e da natureza química do reticulante sobre a liberação controlada de compostos iônicos. 1997. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas, 1997.
- 2 WATANABE, J.; KIRITOSHI, Y.; NAM, K. W.; ISHIHARA, K. Encyclopedia of Biomaterials and Biomedical Engineering, 2ª edição ed.; 2008; p 3434.

- 3 MORALES, M. E. et al. Study and description of hydrogels and organogels as vehicles for cosmetic active ingredients. *Journal of Cosmetic Science*, v. 60, n. 6, p. 627-636, 2009.
- 4 PARENTE, M. E. et al. Bioadhesive hydrogels for cosmetic applications. *International Journal of Cosmetic Science*, v. 37, n. 5, p. 511-518, 2015.
- 5 KAZANSKII K. S.; DUBROVSKII S. A. (1992) Chemistry and physics of “agricultural” hydrogels. In: *Polyelectrolytes Hydrogels Chromatographic Materials. Advances in Polymer Science*, vol 104. Springer, Berlin, Heidelberg.
- 6 GUILHERME, M. R. et al. Superabsorbent hydrogels based on polysaccharides for application in agriculture as soil conditioner and nutrient carrier: A review. *European Polymer Journal*, v. 72, n. 1, p. 365-385, 2015.
- 7 ALMEIDA, J. F. S. L. Preparação e caracterização de hidrogéis para aplicações biomédicas. 2010. 308 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade de Coimbra, 2010.
- 8 HOFFMAN, A. S. Hydrogels for biomedical applications. *Advanced Drug Delivery Reviews*, v. 64, p. 18-23, 2012.
- 9 EL-SHERBINY, I. M.; YACOUB, M. H. Hydrogel scaffolds for tissue engineering: Progress and challenges. *Global Cardiology Science & Practice*, v. 2013, n.3, p. 316–342, 2013.
- 10 MADAGHIELE, M. et al. Polymeric hydrogels for burn wound care: Advanced skin wound dressings and regenerative templates. *Burns Trauma*, v. 2014, n. 2, 2014.
- 11 RODRIGUES, N. O. L. Estudo da liberação controlada de fármacos por hidrogéis de PVA/Atapulgita. 2012. 54 f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia de Materiais) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- 12 ARANHA, I. B.; LUCAS, E. F. Poli (Álcool Vinílico) Modificado com Cadeias Hidrocarbônicas: Avaliação do Balanço Hidrófilo/Lipófilo. *Polímeros*, São Carlos, v. 11, n. 4, p. 174-181, 2001.
- 13 OLIVEIRA, M. J. A. et al. Obtenção e caracterização de membranas de hidrogéis de PVAL/PVP/Ácido Cítrico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 10., 2009, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu. 2009.
- 14 PADRO FILHO, L.G.; SABBAGH, M. Equipamento experimental para determinação de isotermas de adsorção pelo método dinâmico. *Scientia Agricola*. Piracicaba, v. 50, n. 3, p. 455-459, Dec. 1993.
- 15 FARIA, F. O.; VERCELHEZE, A. E. S.; MALI, S. Propriedades físicas de filmes biodegradáveis à base de amido de mandioca, álcool polivinílico e montmorilonita. *Quím. Nova*, São Paulo, v. 35, n. 3, p. 487-492, 2012.

ESTUDO DA APLICAÇÃO DO NEGRO DE FUMO NO PROCESSO DE CEMENTAÇÃO SÓLIDA NO AÇO SAE 1020

Enck, R. O.¹
Castro, F. P. de²
Santo, G. de A.³
Gomes, W. R. C.⁴
Reguly Jr, H.⁵
Rodrigues, E. F.⁶
Souto, A A da R.⁷

- ¹ Técnico em Mecânica, Rodrigo Oscar Enck, Instituto SENAI de Inovação – Soluções Integradas em Metalmeccânica, enckrodrigo@gmail.com.
- ² Técnica em Mecânica, Franciele Pinheiro de Castro, Instituto SENAI de Inovação – Soluções Integradas em Metalmeccânica.
- ³ Técnico em Mecânica, Guilherme de Andrade Santos, Instituto SENAI de Inovação – Soluções Integradas em Metalmeccânica.
- ⁴ Doutorando em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, William Roger Carvalho Gomes, Instituto SENAI de Inovação – Soluções Integradas em Metalmeccânica, william.gomes@senairs.org.br
- ⁵ Mestre em Engenharia Mecânica, Helmuth Reguly Junior, Instituto SENAI de Inovação – Soluções Integradas em Metalmeccânica, helmuth.reguly@senairs.org.br.
- ⁶ Graduando em Engenharia Mecânica, Emerson Fischer Rodrigues, Instituto SENAI de Inovação – Soluções Integradas em Metalmeccânica, emerson.rodrigues@senairs.org.br.
- ⁷ Pós-Graduado em Engenharia Produção, Anderson André da Rosa Souto, Instituto SENAI de Inovação – Soluções Integradas em Metalmeccânica, anderson.souto@senairs.org.br.

Resumo

O processo de cementação em aço SAE 1020 é moroso, e possui um custo relativamente elevado. Pesquisas realizadas constatam que para se atingir uma camada cementada de aproximadamente 4 mm o tempo de processo é em torno de 50 horas. O que significa a utilização de uma grande quantidade de energia para a realização do processo, aumentando consideravelmente o custo, sem contar o custo do carvão vegetal, que é utilizado como material base para a cementação. A diminuição do custo e do tempo do processo são as motivações do trabalho, levando em consideração que o custo do quilograma do negro de fumo é menos da metade do valor do carvão vegetal, optou-se por estudar ele como possível substituto do carvão vegetal. Para a realização do estudo foram confeccionados 35 corpos de prova, divididos em 2 grupos, o primeiro grupo, de 25 unidades, possui forma cilíndrica, diâmetro de 1/2" e comprimento de 11 mm, que sofrerão o processo de cementação e análises microestruturais e de dureza superficial, o segundo grupo contempla as outras 10 unidades que também possuem forma cilíndrica, porém foram usinadas segundo a norma DIN 50125:2009-07, para servirem ao ensaio de tração após o processo de cementação. Com os ensaios realizados houve a oportunidade de comparar os corpos de prova, com e sem tratamento, microscopicamente, levando a resultados que garantem que o negro de fumo pode cementar e mudar a microestrutura do aço SAE 1020. Estes resultados indicaram anomalias nos tempos de processo, pois os corpos de prova com 1 (uma) hora de tratamento obtiveram a maior dureza registrada, em relação aos demais. Nos ensaios de tração os corpos de prova de 3 (três) horas de tratamento registraram a maior resistência à tração,

evidenciando a eficácia do processo, mas não seu controle total com relação a resultados/tempos de processo.

Palavras-chave: negro; fumo; cementação; sólida.

STUDY OF THE APPLICATION OF CARBON BLACK IN THE SOLID CARBURIZING PROCESS SAE 1020 STEEL

Abstract

The carburizing process in SAE 1020 steel is time consuming and has a relatively high cost. Research has shown that to achieve a cemented layer of approximately 4 mm the process time is around 50 hours. Which means the use of a large amount of energy to carry out the process, greatly increasing the cost, not to mention the cost of charcoal, which is used as the base material for cementation. The reduction of the cost and time of the process are the motivations of the work, taking into account that the cost of carbon black is less than half the value of charcoal, it was decided to study it as a possible substitute for charcoal. For the accomplishment of the study, 35 specimens were divided into 2 groups. The first group of 25 units had cylindrical shape, diameter of ½ "and length of 11 mm, which will undergo the cementation process and microstructural and surface hardness, the second group includes the other 10 units that also have cylindrical shape, but were machined according to DIN 50125: 2009-07, to serve the tensile test after the cementation process. With the tests carried out, it was possible to compare the specimens, with and without treatment, microscopically, leading to results that guarantee that the carbon black can cement and change the microstructure of SAE 1020 steel. These results indicated anomalies in the process times , because the specimens with 1 (one) hour treatment had the highest hardness recorded, in relation to the others. In the tensile tests, the 3-hour treatment specimens recorded the highest tensile strength, evidencing the effectiveness of the process, but not its total control in relation to the results / process times.

Key words: black; carbon; carburizing; solid.

1 INTRODUÇÃO

A diminuição de custo e tempo de processo é constantemente buscada pela indústria de várias formas, tendo em vista esse problema, foi proposto um estudo que visa diminuir o custo e tempo do processo de cementação sólida no aço SAE 1020, para tal foi utilizado a fuligem conhecida como negro de fumo, que possui valor por quilograma, geralmente 1/3, menor do que de materiais empregados atualmente neste processo.

A cementação é um tratamento termoquímico que consiste em adicionar carbono à camada superficial da peça. Assim ela é envolvida em um "cimento", aquecida durante certo tempo, á determinada temperatura. Esta temperatura permite a transferência dos átomos de carbono para a superfície da peça por meio de reações químicas. A superfície fica "carbonetada" com dureza elevada, enquanto que o seu núcleo conserva sua tenacidade e praticamente não altera sua dureza. Existem

diferentes processos de cementação, que se diferenciam através do meio de adição de carbono, podendo ser: sólido, líquido e gasoso [1].

Na cementação sólida, a peça é colocada sobre camadas em uma caixa de aço, essas camadas contêm substâncias ricas em carbono como: o carvão de lenha, coque e carbonato de cálcio, conforme mostra a Figura 1.

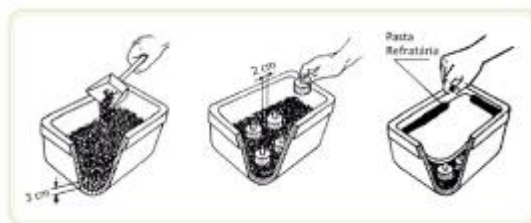


Figura 1 - Processo de Cementação Sólida [2].

Em seguida, a peça é levada ao forno, a uma temperatura de aproximadamente 930 °C, durante o tempo necessário para obtenção da camada desejada. Após essa primeira etapa, a peça passa pelo processo de têmpera para adquirir a dureza desejada. O tempo de permanência no forno pode variar de 1 a 30 horas, e a camada cementada varia de 0,3 mm a 2,0 mm [3].

A profundidade da camada atingida no processo de cementação é vista na Figura 2. Onde é apresentado um exemplo de uma peça em cementação à 925 °C, em uma atmosfera controlada rica em carbono, possuindo uma curva de penetração característica [4].

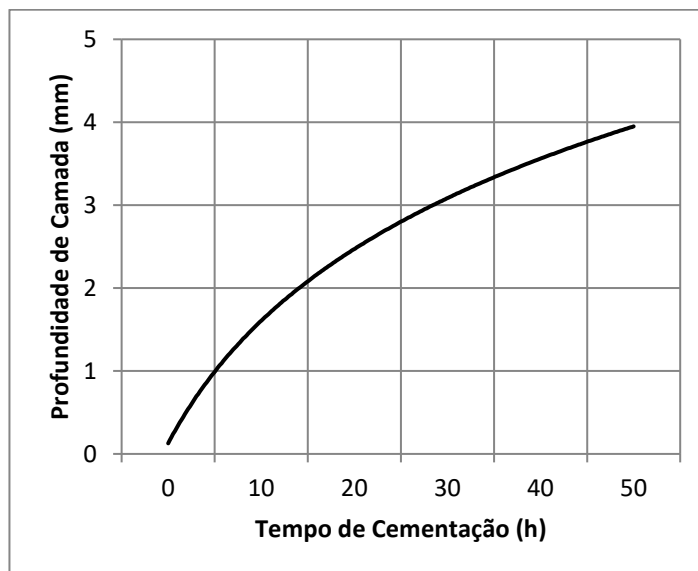


Figura 2 – Efeito do tempo na profundidade de camada cementada (cementação sólida) a 925 °C[4].

O aço SAE 1020 é um dos aços mais comuns utilizados na indústria e na cementação, pois possui excelente relação custo benefício comparado com aços mais ligados. Possui também excelente plasticidade e soldabilidade. É constituído de ligas metálicas, basicamente formadas de ferro, carbono, silício e manganês, apresentando também outros elementos inerentes ao processo de fabricação, em porcentagens

controladas. O aço SAE 1020 é um dos aços mais utilizado por conta de sua baixa temperabilidade, excelente forjabilidade e soldabilidade, porém possui baixa usinabilidade. Este tipo de aço pode ser aplicado de diversas formas com cementação, possuindo ainda excelente relação custo benefício, comparado com outros aços. Normalizado este aço tem sua microestrutura na forma de perlita fina e ferrita [5].

O negro de fumo é um material semelhante a fuligem que resulta da combustão incompleta de derivados do petróleo (geralmente resíduo aromático, obtido nas unidades de craqueamento catalítico das refinarias). É uma forma de carbono amorfo que tem uma área superficial extremamente alta em relação ao volume e, como tal, é um dos primeiros nano materiais de uso comum. Assemelha-se a fuligem, mas com uma relação área superficial por volume muito mais alta [6].

O negro de fumo é um dos 50 produtos químicos mais fabricados no mundo, sendo que 90% de todo o material produzido é aplicado em borracha, 9% como pigmento e 1% para centenas de outras aplicações diversas [7].

O negro de fumo é essencialmente constituído por carbono elementar na forma de partículas aproximadamente esféricas. Tais partículas apresentam um diâmetro máximo inferior a $1\mu\text{m}$ [8].

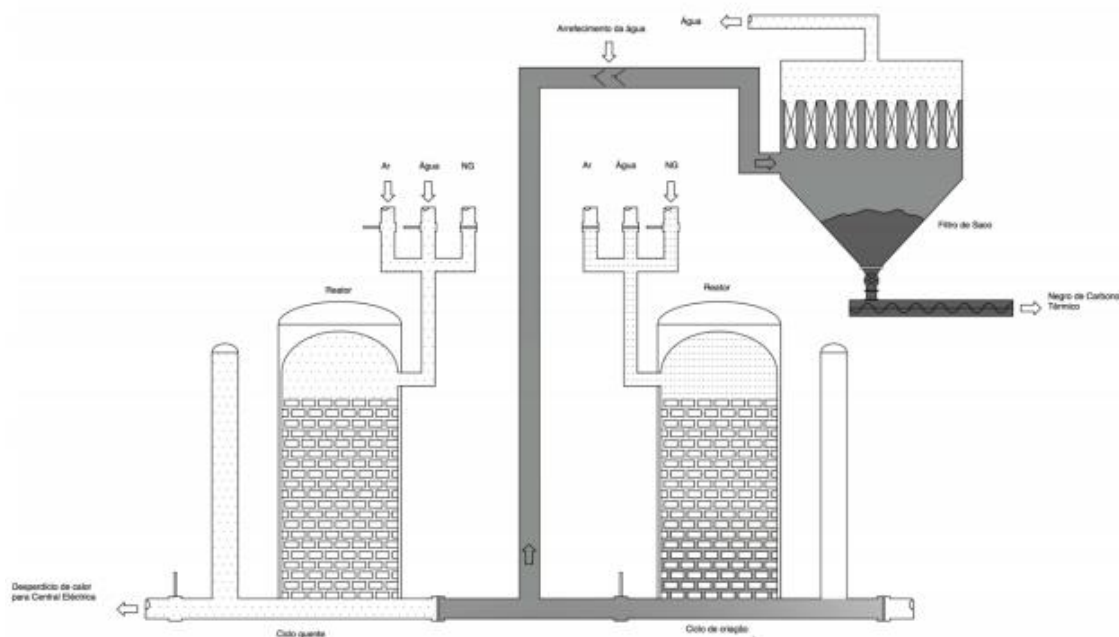


Figura 3 - Esquema de produção do negro de fumo [7].

A forma mais comum de produção é a que ocorre em um silo de aço contendo a matéria-prima, revestido de tijolos refratários e proteção à combustão. O suprimento de ar é regulado através do ar aprisionado entre o silo e o revestimento, bem como o vácuo presente no sistema. Permitindo ao fabricante regular as propriedades finais do negro de fumo. O calor mantido pelo revestimento causa a combustão parcial e vaporização da matéria prima, sendo essa a maior parte de negro de fumo. Para separar os sólidos, os gases do processo, após o resfriamento, são passados por um filtro, retendo assim o negro de fumo. Conforme mostra a Figura 3 [7].

2 METODOLOGIA

O método iniciou-se com a produção de 25 CPs (Corpos de Prova) que possuem forma cilíndrica, para o processo de cementação sólida com Negro de Fumo. Nesses CPs foram realizadas análises microestruturais e de dureza superficial. Também foram usinados 10 CPs conforme norma DIN 50125:2009-07 para os ensaios de tração. Os CPs foram tratados em um forno com temperatura de 930 °C com tempos diferentes para verificação do comportamento do processo.

2.1 Método de Cementação

O método para realização da cementação sólida utilizando o negro de fumo foi feito com uma caixa padrão, forrando o fundo da mesma com negro de fumo, os corpos de prova dispostos com espaçamento de 1,5 mm entre eles e por fim, cobertos com negro de fumo, essa caixa tem as seguintes medidas 24 cm de comprimento, 12 cm de largura e 4 cm de altura.

Para realizar a cementação foram controlados tempo e temperatura. O tempo de processo foi dividido em 1 hora, 2 horas, 3 horas e 4 horas, todos com 5 corpos de prova cada, e temperatura padrão de aproximadamente 930°C, o resfriamento dos corpos de prova foi realizado utilizando água na temperatura ambiente.

2.2 Ensaio de microdureza Vickers

Este ensaio foi utilizado para analisar a dureza dos corpos de prova, após o processo de cementação. O ensaio de dureza Vickers consiste em aplicar, sobre uma carga preestabelecida, um penetrador piramidal sobre a superfície polida do material em estudo.

A impressão, assim, tem o aspecto de uma pirâmide, e o valor de dureza é calculado a partir da média das duas diagonais de sua base, que formam um losango regular. Essas diagonais são medidas através de um ocular presente na máquina de dureza.

Após o processo de cementação foram realizados os ensaios de microdureza, conforme mostra a Tabela 1, com o resultado de cada corpo de prova.

Tabela 1 - Resultados ensaio de Microdureza

Corpo de prova	Microdureza VICKERS			Carga (gramas)
	Tempo de Processo (horas)	Dureza do núcleo	Dureza da borda	
B	Sem tratamento	255,8	Não mensurado	200
G	1	705,7	754,1	200
K	2	577,1	699,8	200
P	3	678,1	699,2	200
W	4	654,1	562,4	200

Com a realização dos ensaios de dureza foi concluído que os corpos de prova com 1 (uma) hora de tratamento tiveram a maior dureza registrada, em relação aos outros corpos de prova que passaram por maior tempo de processo. Sendo que com

4 (quatro) horas de tratamento a dureza foi reduzida, com relação aos corpos de prova com menos tempo de tratamento.

2.3 Análise Metalográfica

Após a realização dos ensaios, obtivemos os resultados demonstrados a seguir por meio das imagens capturadas com microscópio marca/modelo Leica DM 6000 M (Leica DFC 450 C).

As imagens na Figura 4 abaixo demonstram a microestrutura encontrada no corpo de prova B, que não passou pelo processo de cementação:

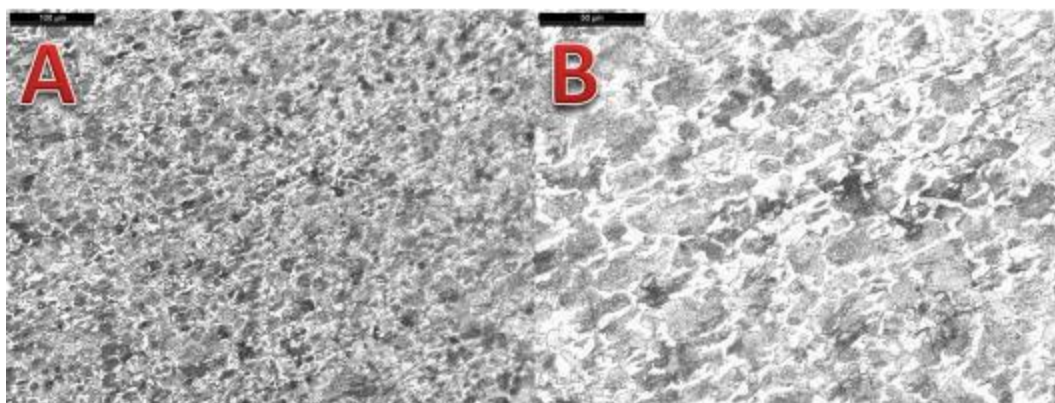


Figura 4 – Análise metalográfica do corpo de prova B: A) Aumento de 200x B) Aumento 500x

Após passar pelo processo de cementação pelo período de 1 (uma) hora à uma temperatura de 930°C, o corpo de prova G apresentou a microestrutura nuclear mostrada na imagem Figura 5.

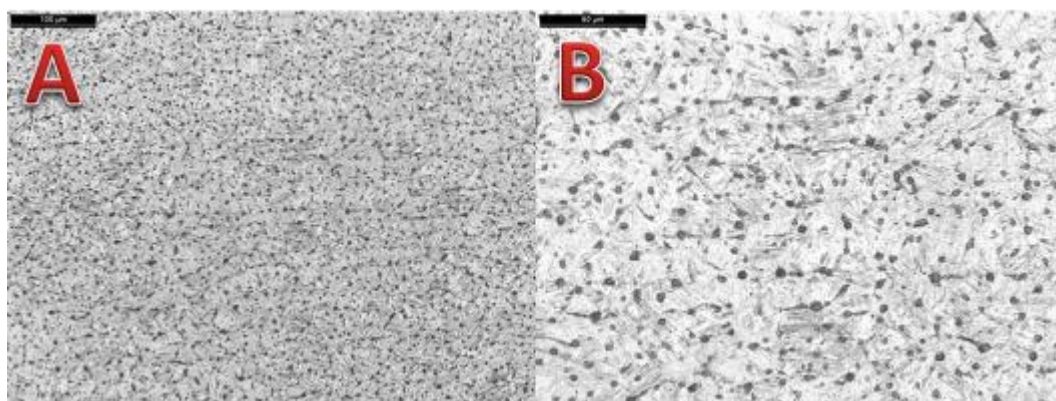


Figura 5 - Análise metalográfica do corpo de prova G: A) Aumento de 200x B) Aumento de 500x

A microestrutura encontrada nas extremidades do corpo de prova G está apresentada na Figura 6.

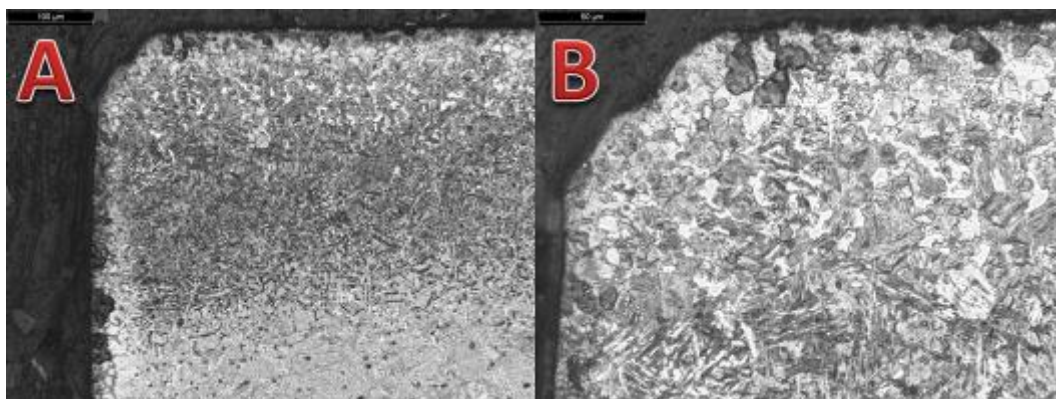


Figura 6 - Análise metalográfica do corpo de prova G: A) Aumento de 200x B) Aumento de 500x

Depois de passar pelo processo de cementação por um período de 2 (duas) horas à temperatura de 930°C, o corpo de prova K apresentou a microestrutura nuclear mostrada na imagem Fig. (7).

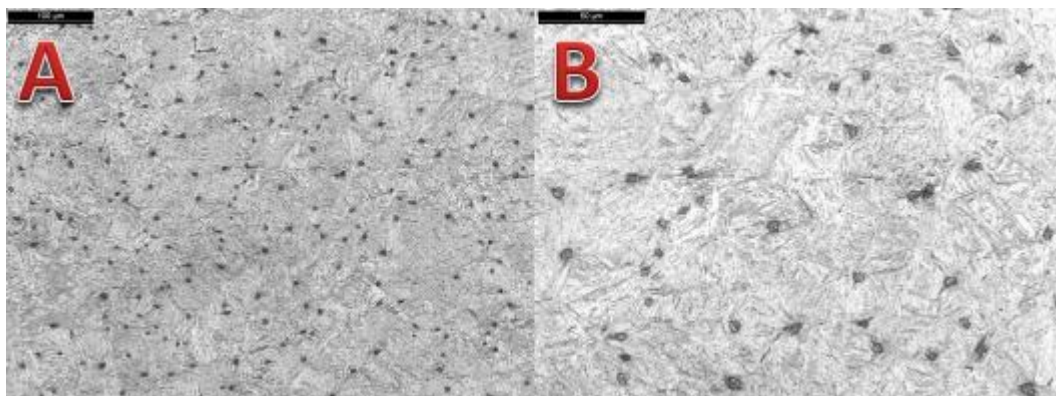


Figura 7 - Análise metalográfica do corpo de prova K: A) Aumento de 200x B) Aumento de 500x

Foi encontrada a microestrutura demonstrada na Fig. (8), que segue abaixo, na extremidade do corpo de prova K, notamos a diminuição da ferrita que ocorreu após o processo.

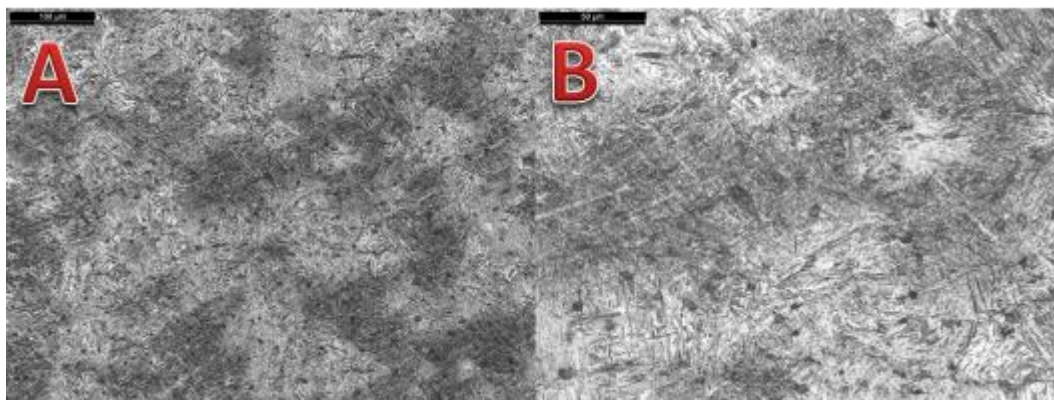


Figura 8 - Análise metalográfica do corpo de prova K: A) Aumento de 200x B) Aumento de 500x

O corpo de prova P apresentou uma microestrutura discrepante em relação a maioria dos outros corpos de prova anteriores, após passar pelo processo de cementação por 3 (três) horas, como demonstra a Fig. (9) do núcleo da peça.

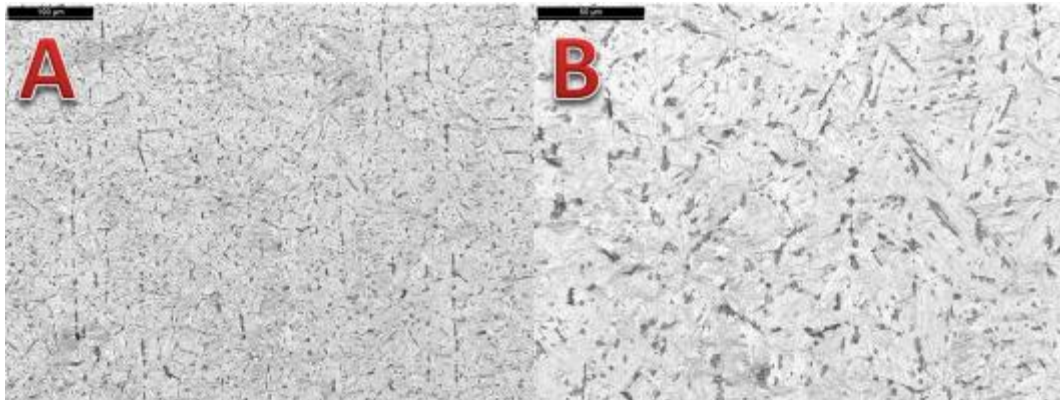


Figura 9 - Análise metalográfica do corpo de prova P: A) Aumento de 200x B) Aumento de 500x

A maior discrepância encontrada neste corpo de prova foi com relação a suas extremidades, que apresentaram uma microestrutura completamente diferente das demais. Podemos notar duas microestruturas, perlita e martensita, estando a perlita mais próxima da borda na Fig. (10).

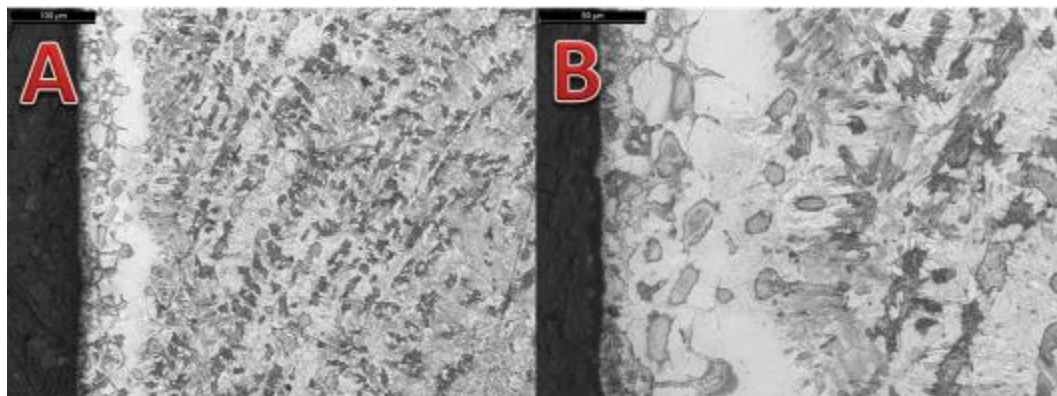


Figura 10 - Análise metalográfica do corpo de prova P: A) Aumento de 200x B) Aumento de 500x

Por fim temos o corpo de prova W, que passou pelo tratamento por 4 (quatro) horas, apresentando microestrutura claramente modificada pelo processo, em relação ao corpo de prova B que não recebeu tratamento. A Fig. (11) do núcleo exemplifica isto.

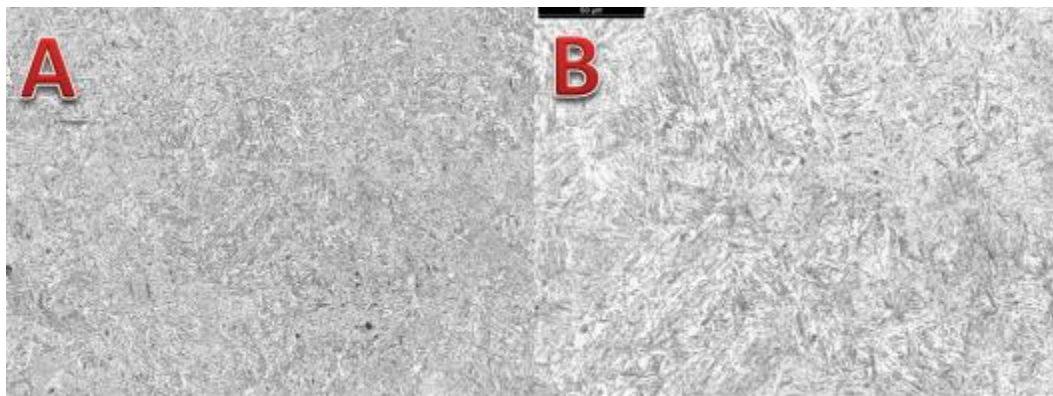


Figura 11 - Análise metalográfica do corpo de prova W: A) Aumento de 200x B) Aumento de 500x

As análises feitas nas extremidades do corpo de prova W confirmam a mudança de microestrutura ocorrida após o processo, como demonstra a Fig. (12).

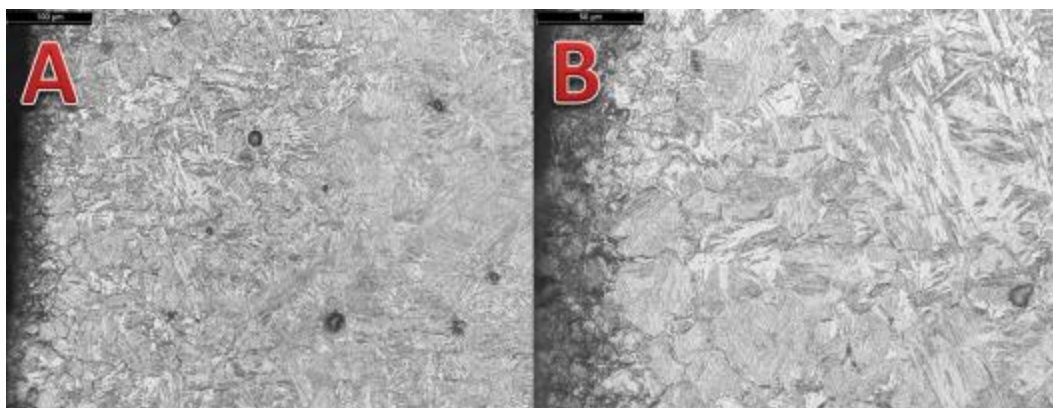


Figura 12 - Análise metalográfica do corpo de prova W: A) Aumento de 200x B) Aumento de 500x

2.4 Ensaio de Tração

Obtivemos, após os ensaios de tração, os resultados exemplificados por meio das tabelas e equações que seguem abaixo. Podemos observar que os corpos de prova que passaram por tratamento não sofreram alongamento elástico visível, indo direto para a zona plástica e logo após rompendo, o motivo primário para este fenômeno foi que os corpos de prova não passaram pelo processo de revenimento antes dos ensaios.

Corpos de prova sem tratamento:

A Fig. (13) demonstra o gráfico obtido no ensaio de tração em corpo de prova sem tratamento, em aço SAE 1020. No gráfico, separados em CP1 (Corpo de prova 1) e CP2 (Corpo de prova 2), podemos identificar a curva característica de tensão x deformação do aço, passando pelos estágios característicos deste processo, as zonas elástica e plástica, estrição e ruptura do material. Também demonstrados na Tab. (2) estão os valores das forças (em Newton) máximas e de escoamento que o material resistiu, as informações de diâmetro inicial (D_i) e diâmetro final (D_f) dos corpos de prova, o alongamento final (L_f) após a tração e o valor em percentual da estrição dos dois corpos de prova. Constatam também as informações da máquina utilizada e do técnico que realizou os ensaios.

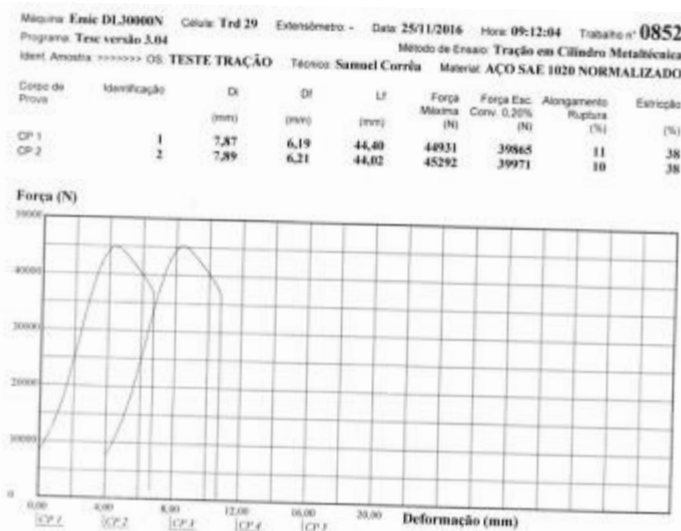


Figura 13 - Informações e curva do ensaio de tração em corpo de prova sem tratamento

A Fig. (14), demonstra o dano e o alongamento dos Corpos de prova (CP1 e CP2) sem tratamento após o ensaio de tração descrito na Fig. (13).



Figura 14 - Corpos de prova sem tratamento.

Com as informações obtidas na tabela 4.4, de ensaio de tração, conseguimos calcular as tensões máximas e de escoamento (em Mega Pascal - MPa) dos corpos de prova (CP1 e CP2) sem tratamento, utilizando as Eq. (1) e Eq. (2).

CP1:

$$\sigma_{max} = \frac{F}{A} \quad (1)$$
$$\sigma_{max} = \frac{44931 \text{ N}}{48,65 \text{ mm}^2}$$
$$\sigma_{max} = 923,56 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{esc} = \frac{F}{A} \quad (2)$$
$$\sigma_{esc} = \frac{39865 \text{ N}}{48,65 \text{ mm}^2}$$
$$\sigma_{esc} = 819,42 \text{ MPa}$$

CP2:

Utilizando as equações 4.1 e 4.2 encontramos os resultados abaixo para as tensões máxima e de escoamento:

$$\sigma_{max} = 926,41 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{esc} = 817,57 \text{ MPa}$$

Corpos de prova com 3 (três) horas de tratamento:

Os corpos de prova CP1 e CP2, que passaram pelo processo de cementação sólida durante 3 (três) horas, obtiveram uma das maiores resistências à tração, sendo a maior força obtida de 93308 N no corpo de prova CP1, dentre todos os outros. A estricção de 4% e o alongamento de 2% (CP1) não estão padronizados entre os dois corpos de prova com o mesmo tempo de processo. Porém, como os demais corpos de prova com tratamento, o gráfico da relação tensão x deformação não demonstra a zona elástica do material.

O diâmetro final (Df) do corpo de prova CP2 não se alterou após o ensaio, por contas do menor alongamento (1%), em relação ao corpo de prova CP1, a força máxima até a ruptura também foi menor (72.996 N) e não houve estricção (0%). As tensões máximas e de escoamento foram as maiores obtidas nos ensaios, no caso do corpo de prova CP1, 1.908,53 MPa e 1.857,05 Mpa, respectivamente.



Figura 15 - Informações e curva do ensaio de tração em corpo de prova com 3 (três) horas de tratamento.

Para atestar os resultados obtidos na Fig. (15), temos a Fig. (16) dos dois corpos de prova CP1 e CP2. É possível observar, como nos demais corpos de prova tratados, não houve alongamento.



Figura 16 - Corpos de prova com 3 horas de tratamento

As mesmas Eq. (1) e (2), utilizadas nos demais corpos de prova, foram empregadas para calcular as tensões máximas e de escoamento resultantes do ensaio de tração.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a realização de todos os tratamentos e ensaios descritos neste trabalho, foi possível observar que as reações causadas pela utilização do negro de fumo como material de adição de carbono no aço SAE 1020 se caracterizaram como não convencionais, pois os corpos de prova não obtiveram, necessariamente resultados em ordem crescente em relação ao tempo de processo. Os corpos de prova que

passaram por mais tempo de processo não foram necessariamente os que sofreram maior modificação na microestrutura, dureza e resistência a tração.

Considerando que os corpos de prova com 1 (uma) hora de tratamento foram os que sofreram maior mudança em sua microdureza superficial, bem como os corpos de prova com 3 (três) horas de tratamento forma os que melhor resistiram a tração.

Comprovando desta forma que não há padrão nas reações que este material pode causar quando utilizado para cementação. Porém é possível afirmar, com base em nossos ensaios, que o negro de fumo realmente altera a microestrutura do aço SAE 1020, podendo assim ser uma alternativa mais em conta para este tipo de tratamento.

4 REFERÊNCIAS

1. DAVIS, J. R. (Ed.). **Gear materials, properties, and manufacture**. ASM International, 2005.
2. SENAI-SP. **Tratamento térmico**. São Paulo: Departamento Regional de São Paulo, 2000. 72 p.
3. DREHMER, Alessandra. **Determinação da espessura de camadas duras em aços por técnicas magnéticas**. 2013. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Processos, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2013.
4. CHIAVERINI, Vicente. **AÇOS E FERROS FUNDIDOS**. 6. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metais, 1988.
5. AÇOSPORTE. **Aço SAE 1020**. Disponível em: <<http://www.acosporte.com.br/aco-sae-1020>>. Acesso em: 23 ago. 2016.
6. BUDEMBERG, Eduardo Roque. **Caracterização e Aplicações do Negro de Fumo Recuperado obtido pela Conversão em Baixa Temperatura do Pneu em NR E SBR**. 2006. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, Lorena, 2006.
7. INTERNACIONAL CARBON BLACK ASSOCIATION. **Guia do Utilizador do Negro de Fumo**. Associação Internacional do Negro de Fumo, 2016. 36 p.
8. CONGRESSO BRASILEIRO DE QUIMICA, 52º, 2012, Recife. **Materiais Carbonosos: Estudo, caracterização e aplicações do Negro de Fumo**. Recife: Anais, 2012. 1 p.

ESTUDO DE ADEQUAÇÃO DE UMA LINHA DE ENSAQUE CONFORME NR-12

De Barba Jr, D.J.¹

Crestani, G.²

Bork. C.A.³

¹ Doutor, Durval João De Barba Junior, IFSul, debarbajr@sapucaia.ifsul.edu.br.

² Engenheiro, Guilherme Crestani, IFSUL

³ Doutor, Carlos Alberto Schuch Bork, IFSul, bork@sapucaia.ifsul.edu.br.

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

Resumo

Este artigo mostra a análise dos sistemas de segurança de um conjunto de máquinas que compõem uma linha de ensaque de pellets de polímero do ponto de vista normativo. Consiste em obter importantes informações sobre as condições dos equipamentos, avaliar as proteções de acordo com a NR-12, visando garantir a saúde e o bem estar dos trabalhadores envolvidos. Foram encontrados 77 itens de não conformidades, de um total de 448 obrigações descritas na legislação do Ministério do Trabalho e Emprego. Estes dados foram obtidos através do preenchimento de uma folha de verificação elaborada pelo autor. A partir da identificação das não conformidades foram encontradas seis áreas de grande representatividade e que foram um dos focos desta análise. Desta forma, foi possível propor melhorias necessárias para garantir a funcionalidade dos equipamentos e o atendimento da norma. Com base nos resultados obtidos e no levantamento de todas as necessidades de adequação, observa-se que para determinadas condições, as proteções existentes não atendem a nova legislação da NR-12.

Palavras-chave: Segurança do trabalho; Projeto; Máquinas e equipamentos e NR-12.

STUDY OF PACKING LINE ADEQUACY CONFORMING TO NR-12

Abstract

This article shows the analysis of the safety systems of a set of machines that make up a polymer pellet packing line from a normative point of view. It consists of obtaining important information about the conditions of the equipment, evaluating the protections according to NR-12, in order to guarantee the health and well-being of the workers involved. There were 77 items of nonconformities, out of a total of 448 obligations described in the legislation of the Ministry of Labor and Employment. These data were obtained by completing a check sheet prepared by the author. From the identification of the nonconformities were found six areas of great representativeness and that were one of the focuses of this analysis. In this way, it was possible to propose improvements needed to ensure the functionality of the equipment and compliance with the standard. Based on the results obtained and the survey of all adequacy needs, it is observed that for certain conditions, existing protections do not comply with the new NR-12 legislation.

Key words: Workplace safety; Project; Machines and equipment and NR-12.

1 INTRODUÇÃO

A Portaria nº 3.214, de 08 de junho de 1978, aprova as normas regulamentadoras relativas à segurança e medicina do trabalho. Dentre as atuais 36 normas, a Norma de número 12 (NR-12), com última atualização em 2015, descreve as obrigações das empresas quanto à segurança de máquinas e equipamentos.

Em 2015 o Ministério do Trabalho e Emprego⁽¹⁾ divulgou um levantamento do número total de acidentes de trabalho envolvendo máquinas e equipamentos em todo o país. Esse material contempla os acidentes ocorridos entre 2011 e 2013 e que constam no cadastro de Comunicação de Acidente do Trabalho (CAT), assim como, fornece dados do agente causador do acidente, situação geradora, partes do corpo atingidas e se houve óbito dos acidentados.

Segundo os dados⁽¹⁾ no Brasil ocorrem entre 71 e 77 mil acidentes por ano envolvendo máquinas, totalizando em média o óbito de 200 trabalhadores por ano. No estado do Rio Grande do Sul esses números estão próximos de 6.500 acidentes por ano, totalizando em média 17 óbitos.

A NR-12 visa aumentar a segurança em máquinas e equipamentos e diminuir o número de vítimas de acidentes de trabalho no Brasil. Esses números são importantes do ponto de vista social, pois permitem justificar iniciativas do poder público, a fim de prover uma melhor fiscalização junto às empresas e fabricantes de máquinas. A implantação de melhorias em máquinas objetiva diminuir esses números de acidentes, visto que esse é um problema que atinge milhares de famílias.

Este trabalho visa atender a demanda de uma determinada empresa que possui uma linha de ensaque de pellets desde o ano 2000 e ainda não revisou os sistemas de segurança, conforme os itens da nova NR-12. Na condição atual os riscos existentes podem gerar dano à saúde e segurança dos trabalhadores envolvidos na operação e manutenção das máquinas, com possibilidade de acontecerem acidentes das mais diversas proporções.

O objeto deste trabalho é propor melhorias nos sistemas de segurança de uma linha de ensaque de pellets de polímero aos itens da NR-12 (Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos), atualizada conforme a Portaria MTE nº 857, de 25 de junho de 2015, a fim de garantir as plenas condições de segurança para os trabalhadores.

A NR-12 foi introduzida no ordenamento jurídico em 8 de junho de 1978 pela Portaria GM nº 3.214, tratando exclusivamente de segurança em máquinas e equipamentos⁽²⁾⁽³⁾.

O texto da norma passou por oito atualizações até o momento, sendo que em 17 de dezembro de 2010 a Portaria SIT nº 197 agregou aspectos técnicos consistentes, para que, com o auxílio dos auditores fiscais do Ministério do Trabalho e Emprego, fossem empregadas pelas empresas, as necessárias medidas de prevenção aos riscos de acidentes. A última atualização foi publicada em 25 de junho de 2015, segundo a Portaria MTE nº 857⁽³⁾⁽⁴⁾.

Percebe-se, no atual texto, uma evolução em comparação com as atualizações anteriores, onde em relação aos operadores de máquinas eram previstas apenas recomendações de caráter genérico, como por exemplo, a permanência dos operadores em suas áreas de controle, não devendo se afastar do local e, em caso de ocorrências de paradas prolongadas ou temporárias, a colocação dos controles em

posição neutra, acionamento do freio e a adoção de outras medidas de segurança. A última atualização é mais específica e obriga o empregador a fornecer capacitação aos trabalhadores envolvidos na operação, manutenção, inspeção e demais intervenções, para que conheçam os riscos a que estão expostos e as medidas de proteção existentes e necessárias para prevenção de acidentes, sendo que o Anexo II da norma define o conteúdo programático desta capacitação, que deve contar com etapa teórica e prática⁽³⁾⁽⁵⁾.

A norma e seus anexos definem referências técnicas, princípios fundamentais e medidas de proteção para garantir a integridade física e a prevenção de doenças de todos os empregados envolvidos nas fases de construção, transporte, montagem, instalação, ajuste, operação, limpeza, manutenção, inspeção, desativação e desmonte da máquina ou equipamento. O empregador deve atender todas as exigências aos equipamentos, sem distinguir entre máquinas novas ou usadas, e adotar medidas de controle adequadas quando a operação da máquina envolver pessoas com deficiência⁽³⁾.

As medidas de proteção devem atender uma ordem prioritária de adoção, sendo da mais importante para a menos importante, respectivamente, a instalação de proteções coletivas, medidas administrativas e de organização do trabalho e de proteção individual⁽³⁾.

A NR-12 conta com 12 textos anexos que tratam de temas e atividades específicas e utiliza conteúdo publicado por meio de normas técnicas para compor o texto de seus anexos. ⁽³⁾

As atualizações anteriores ao ano de 2010 não previam a exigência de dispositivos de segurança nas máquinas, apenas estabeleciam que as transmissões de forças (eixos, engrenagens etc.) deveriam ser enclausuradas ou devidamente isoladas por anteparos. Também excluíam a adição dessas medidas se essas transmissões estivessem a uma altura superior a 2,5 metros em relação ao piso⁽⁶⁾.

A partir de 2010, o texto apresenta conceitos novos visando sempre atender ao princípio da falha segura⁽³⁾.

Quanto aos sistemas de segurança, a NR-12 exige que as zonas de perigo das máquinas e equipamentos devam possuir sistemas de segurança, caracterizadas por proteções fixas, proteções móveis e dispositivos de segurança interligados, que garantam proteção à integridade física dos trabalhadores. Para fins de entendimento, a norma considera proteção o elemento especificamente utilizado para prover segurança, por meio de barreira física, podendo ser fixa ou móvel. A proteção fixa deve ser mantida em sua posição de maneira permanente ou por meio de elementos de fixação que só permitam sua remoção ou abertura com o uso de ferramentas. A proteção móvel pode ser aberta, sem o uso de ferramentas, e deve estar associada aos dispositivos de intertravamento⁽³⁾.

Os dispositivos de segurança, citados no item 12.38 da NR-12, são classificados em seis classes: Comandos elétricos ou interfaces de segurança; Dispositivos de intertravamento; Sensores de segurança; Válvulas e blocos de segurança ou sistemas pneumáticos e hidráulicos; Dispositivos mecânicos e Dispositivos de validação. Estes dispositivos, que podem estar interligados ou associados às proteções, devem reduzir os riscos de acidentes e de outros agravos à saúde⁽³⁾.

A norma técnica NBR NM 272 fornece um guia para ajudar na escolha do tipo de proteção a ser escolhida para promover a segurança das partes móveis de máquinas⁽⁷⁾.

Segundo Osada⁽⁸⁾, não importa se o sistema com o qual está se trabalhando é sofisticado ou se a tecnologia é de ponta; surgirão problemas se o painel de controle estiver sujo ou se os medidores estiveram cobertos de sujeira. A NR-12 determina uma série de obrigações que garantem a organização das instalações e do arranjo físico das máquinas e seus arredores⁽³⁾.

Os locais de trabalho devem contar com vias de acesso e circulação demarcadas e livres de objetos desnecessários. Os pisos dos locais de trabalho precisam ser mantidos limpos e livres de objetos e ferramentas, devendo ter características para evitar condições de risco provenientes de graxas e óleos que possam causar escorregamentos, além de serem nivelados e resistentes às cargas que estão sujeitos⁽³⁾.

As vias principais de circulação, nos locais de trabalho, e as que conduzem às saídas devem ter, no mínimo, 1,2 metros de largura⁽³⁾.

As máquinas, as áreas de circulação, os postos de trabalho e quaisquer outros locais em que possa haver trabalhadores devem ficar posicionados de modo que não ocorram transporte e movimentação aérea de materiais sobre os trabalhadores⁽³⁾.

Segundo Gardin⁽⁹⁾, as boas práticas, para manter os trabalhadores livres de acidentes com cargas suspensas, são cercar a zona de perigo com cordas, fitas zebradas ou barreiras e colocar sinais temporários, como por exemplo, placas de advertência.

Para ter uma boa organização, Gardin⁽⁹⁾ sugere evitar que os funcionários deixem objetos nas áreas de passagem, e que as áreas de estocagem sejam demarcadas no piso, a fim de enfatizar as fronteiras de uma área de circulação ou de trabalho. Sugere ainda que as áreas de circulação sejam inspecionadas, com intuito de corrigir as condições perigosas, onde o operador desrespeitou a sinalização da área de estocagem.

Segundo Osada⁽⁸⁾, o primeiro passo na arrumação de uma fábrica é a demarcação dos corredores e a indicação do local de cada material ou máquina. O autor ainda sugere que o layout de áreas de circulação e estocagem deve respeitar um sentido de linha e ângulo reto, a fim de maximizar o espaço e evitar a formação de curvas. As áreas de circulação com curvas possibilitam colisão de pessoas e materiais e a movimentação se torna mais lenta em comparação as áreas retas.

Os locais de trabalho das máquinas e equipamentos devem possuir sistema de iluminação permanente que possibilitem boa visibilidade dos detalhes do trabalho evitando zonas de sombra ou de penumbra. A má iluminação é uma das razões pela qual as pessoas deixam de ver objetos deixados nas passagens, escadas e áreas de trabalho. As fontes de iluminação devem ser mantidas limpas, sem a presença de graxa e sujeira, e quando queimadas, devem ser substituídas⁽³⁾⁽⁹⁾.

Caso seja necessário o uso de ferramentas no local de trabalho essas devem ser organizadas e armazenadas ou dispostas em locais específicos para essa finalidade⁽³⁾.

Para Osada⁽⁸⁾, o principal ponto da organização está ligado às ferramentas. O autor sugere: eliminar a necessidade de ferramentas; reduzir o número de ferramentas necessárias; guardar as ferramentas onde se possa encontrá-las imediatamente;

guardar as ferramentas na ordem que serão usadas; guardar as ferramentas para que não seja necessário usar a outra mão; guardar as ferramentas para que se possa colocá-las de volta em seu lugar só com uma mão.

As ferramentas e materiais utilizados nas intervenções em máquinas e equipamentos devem ser adequados às operações realizadas. É proibido o porte de ferramentas manuais em bolsos ou locais não apropriados a essa finalidade⁽³⁾.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo propõe melhorias de uma máquina de ensacar automática, fabricada pela empresa BagLine, modelo Compacta 1.600 e com ano de fabricação de 1999, na Itália. A linha de ensaque opera conforme necessidade de planejamento e controle de produção para atender a demanda do setor comercial. O equipamento possui capacidade de ensacar 1.200 sacos por hora. Habitualmente, esta opera de segunda a sexta-feira das oito à meia-noite e, esporadicamente, aos sábados das oito às 16 horas, quando existe demanda extra.

Para alcançar o cumprimento do objetivo se observou as seguintes etapas:

1. Elaboração de um *check-list* que contenha todos os itens da NR-12;
2. Preenchimento do *check-list* (em campo) para verificar a quantidade de conformidades ou não conformidades;
3. Segregar o *check-list* em 16 partes conforme os tópicos em que a NR-12 está dividida;
4. Indicar com a utilização do gráfico de Pareto quais as áreas que possuem mais itens de não conformidades;
5. Indicar os locais que necessitam adequar ou instalar proteções fixas ou móveis por meio de desenhos ou ilustrações;
6. Indicar os locais que necessitam adequar ou instalar dispositivos pneumáticos e eletro-eletrônicos por meio de desenhos ou ilustrações.

Para a aplicação dessa metodologia, serão realizadas visitas *in loco*, na empresa, sendo utilizado formulário em papel (*check-list*) e máquina fotográfica para coleta de dados.

O material para consulta das informações do fabricante, manuais e desenhos, será disponibilizado pela empresa conforme solicitações durante o preenchimento do *check-list*.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme previsto, na etapa de metodologia deste trabalho foi elaborado um *check-list* dos itens da NR-12. Este material completa um total de 448 itens que estão segregados em 16 diferentes áreas.

Os itens verificados foram distribuídos em três possíveis resultados: conforme (C), não conforme (NC) ou não aplicável (NA). A escolha de sinalizar um item do *check-list* como não conforme está embasado no texto da norma e associado à condição atual do equipamento verificado *in loco*. Os itens sinalizados como não aplicáveis ou se referem a um título de introdução ou não se caracteriza com a condição atual do equipamento.

A partir do preenchimento do *check-list* se evidenciou um total de 77 itens não conformes com a norma, sendo que 62 não conformidades (NC) foram encontradas nas seis primeiras áreas, o que representam 80% do total de NC (Figura 1).

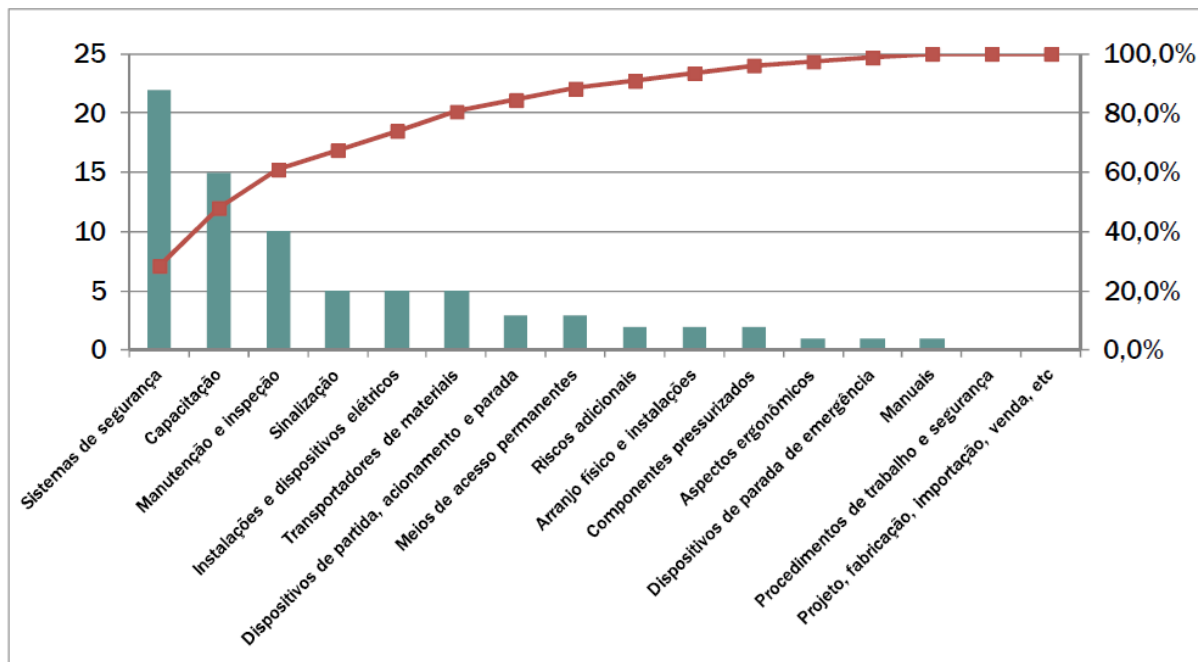


Figura 1: Gráfico de Pareto - não conformidades segregadas por área.

Devido ao grande número de itens e à expressiva quantidade de não conformidades neste trabalho, serão apresentadas as evidências encontradas nas seis primeiras áreas. Durante a descrição de cada área, serão citados, como embasamento, os itens referentes à NR-12⁽³⁾: (A) Sistemas de segurança; (B) Capacitação; (C) Manutenção e inspeção; (D) Sinalização; (E) Instalações e dispositivos elétricos; e (F) Transportadores de materiais.

A. Sistemas de segurança: as não-conformidades (NC) em geral se caracterizam pela ausência de proteções em algumas zonas de perigo. No item 12.38⁽³⁾, é previsto que as máquinas e equipamentos possuam sistemas de segurança que considerem as características e o processo de trabalho da máquina de modo a garantir o nível máximo de segurança, sendo que no local se evidencia a falta de algumas proteções. Outro item não conforme encontrado se refere à seleção e instalação dos dispositivos atuais, conforme item 12.39⁽³⁾. Os sistemas não levam em consideração a categoria de segurança requerida, ausência de responsabilidade técnica e ausência de monitoramento dos dispositivos eletrônicos. Outros itens encontrados se referem à inoperância de um dispositivo eletrônico encontrado em uma porta de acesso (12.40 e 12.45)⁽³⁾, à ausência de dispositivo eletrônico em uma proteção móvel (12.44a)⁽³⁾, à presença de transmissões de força e componentes móveis acessíveis (12.47)⁽³⁾ e ao acesso às partes de máquinas sem proteções onde existe o risco de ruptura de componentes (12.48)⁽³⁾.

B. Capacitação: as não conformidades (NC) encontradas nessa área se devem basicamente pela ausência de treinamento dos trabalhadores. Os itens 12.135 e 12.136⁽³⁾ exigem capacitação dos trabalhadores que se envolvem na operação, manutenção e inspeções de máquinas e equipamentos. Esta capacitação deve abordar os riscos que os trabalhadores estão expostos e as medidas de proteções existentes. O item 12.138⁽³⁾ define que a capacitação deve possuir carga mínima de

oito horas, realizada sem custo, ocorrer antes que o trabalhador assumira suas funções e respeitar o conteúdo programático conforme o Anexo II da norma⁽³⁾. A NR-12 prevê, no item 12.143⁽³⁾, que o trabalhador que possuir comprovação por meio de registro na Carteira de Trabalho e Previdência Social ou registro de empregado de pelo menos dois anos de experiência na atividade está dispensado do treinamento básico com carga horária de oito horas, porém não foi evidenciado o treinamento de reciclagem conforme o item 12.144⁽³⁾.

C. Manutenção e inspeção: as não conformidades (NC) assinaladas nessa área se devem principalmente a falta de registro das manutenções realizadas, conforme previsto no item 12.112 e 12.112.1⁽³⁾. O registro das informações era realizado por meio de software especializado, porém com a troca de fornecedor estes registros não estão sendo executado. Este item ainda cita a obrigação de manter os registros disponíveis à CIPA e ao SESMT da empresa, assim como, à fiscalização do Ministério do Trabalho e Emprego⁽³⁾. O item 12.115⁽³⁾ prevê que sempre que qualquer defeito em peça ou componente que comprometa a segurança deve ser imediatamente reparado ou substituído. Durante o preenchimento do check-list se evidenciou uma chave de segurança eletromecânica inoperante⁽³⁾.

D. Sinalização: as não conformidades evidenciados foram em virtude do uso de textos escritos na língua inglesa, como por exemplo *danger*, o que não é permitido segundo o item 12.119 e 12.119.1⁽³⁾, assim como placas em locais de difícil visualização e que necessitam troca por já estarem danificadas, como previsto no item 12.117⁽³⁾. E. Instalações e dispositivos elétricos: as não-conformidades evidenciadas estão em desacordo com o item 12.18⁽³⁾. No local de trabalho os quadros de energia das máquinas estão com a porta de acesso aberta e sem sinalização quanto ao perigo de choque elétrico, assim como, não possui restrição de acesso por pessoas não autorizadas⁽³⁾.

F. Transportadores de materiais: as não conformidades encontradas nesta área se justificam pela presença de diversos pontos de esmagamento ou agarramento expostos. Esses movimentos perigosos devem ser protegidos conforme o item 12.85⁽³⁾, assim como a ausência de proteção nas zonas de perigo na esteira abaixo de 2,7 metros de altura, conforme item 12.85.1⁽³⁾. A norma também prevê o risco de queda dos trabalhadores. É obrigatória a presença de plataforma nos dois lados da esteira com altura superior a 2,7 metros, conforme item 12.86⁽³⁾, assim como é previsto a instalação de sistema de proteção contra queda, item 12.90.2⁽³⁾. Foi evidenciado o risco de queda quando o trabalhador necessita acessar a esteira para desobstruir a sacaria no posicionador⁽³⁾.

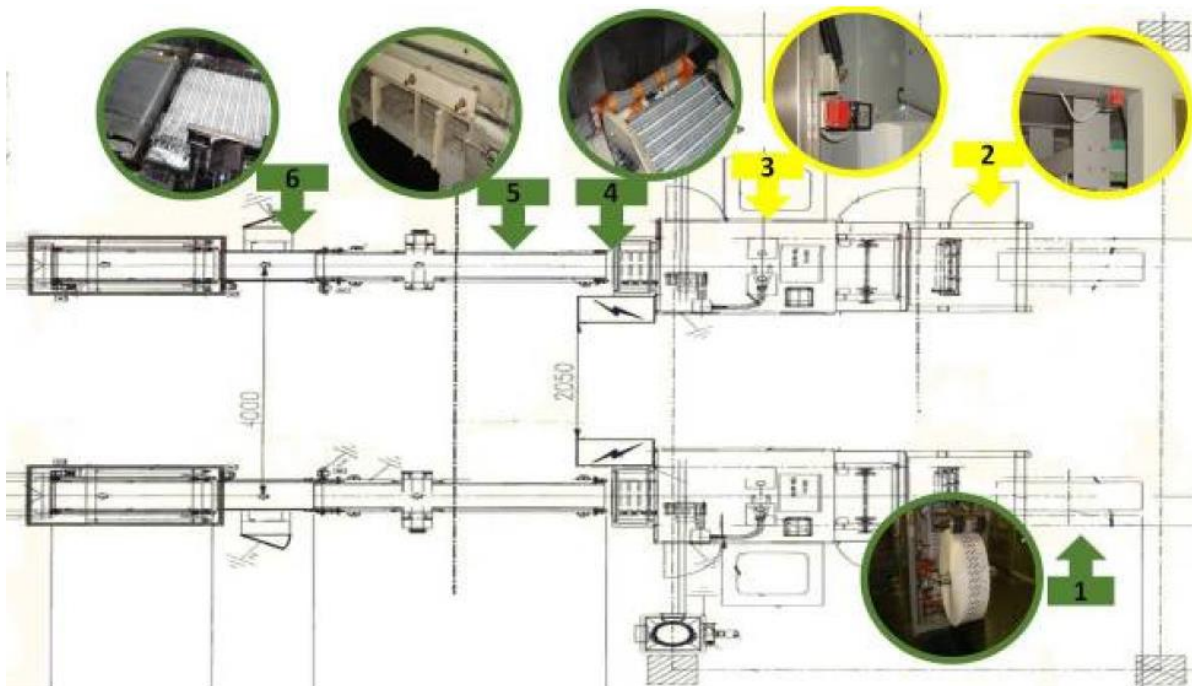
Conforme previsto na etapa de metodologia foi indicado os locais que necessitam adequação ou instalação de proteções fixas ou móveis, assim como indicação dos dispositivos eletroeletrônicos. Para ilustrar esta indicação, o desenho da linha de ensaque foi separado em quatro partes, respeitando os limites de cada máquina que compõem esta linha de produção, sendo assim definidos: (A) Ensacadeira; (B) Esteira (de sacarias e pallets); (C) Paletizadora; e (D) Máquina de *stretch*.

Todas as zonas de perigo das máquinas e equipamentos devem possuir sistemas de segurança. Devem ser instaladas proteções fixas ou móveis, e dispositivos de segurança interligados, que garantam proteção à saúde e à integridade física dos trabalhadores.

Nos desenhos a seguir as imagens circuladas pela cor verde indicam que as melhorias necessárias são proteções, fixas ou móveis, como previsto na metodologia deste trabalho. As imagens circuladas pela cor amarela se referem às melhorias ou necessidade de instalação de dispositivos eletro-eletrônicos.

A ensacadeira (Figura 2) apresenta seis pontos que necessitam melhoria. Estes locais estão identificados e numerados de um (1) a seis (6).

Figura 2: Desenho da ensacadeira com indicação das melhorias.



1. Parte traseira da ensacadeira e bobina de filme plástico: este local permite acesso a zona de perigo, com possíveis pontos de esmagamento, pois não possui proteção fixa, móvel ou sensor de segurança.

2. Dispositivos de intertravamento da porta da ensacadeira: as chaves de segurança eletromecânicas não estão instaladas em duplicidade, a fim de manter o estado seguro da máquina, e deveriam estar associadas a um comando elétrico ou interface de segurança.

3. Dispositivos de intertravamento da porta da ensacadeira: as chaves de segurança eletromecânicas não estão instaladas em duplicidade, a fim de manter o estado seguro da máquina, e deveriam estar associadas a um comando elétrico ou interface de segurança.

4. Parte frontal da ensacadeira e saída de sacarias: este local permite o acesso dos membros superiores de um trabalho a zona de perigo. O local não possui uma proteção que proíba esse acesso. Esta proteção deve obedecer às dimensões do Anexo I da norma NR 12.

5. Esteira da ensacadeira: existe a presença de pontos de agarramento expostos. Estes locais devem estar isolados com proteções fixas.

6. Esteira da ensacadeira: existe a presença de pontos de esmagamento e agarramento nos roletes expostos. Estes locais devem estar isolados com proteções

fixas.

A esteira (Figura 3) apresenta três pontos que necessitam melhoria. Estes locais estão identificados e numerados de sete (7) a nove (9).

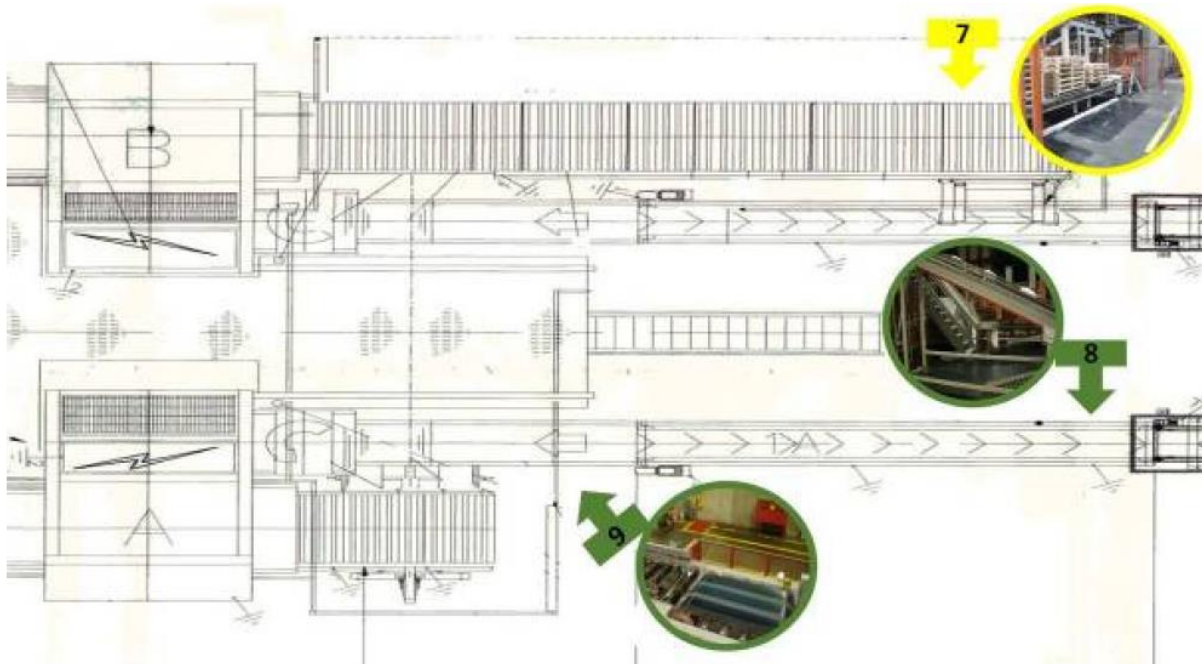


Figura 3: Desenho da esteira com indicação das melhorias.

7. Esteira de pallets: a esteira de pallets possui acesso integral a zona de perigo, sem a presença de sensores de segurança ou proteções fixas que isolem o trabalhador da zona de perigo.

8. Esteira de sacarias: existe a presença de pontos de agarramento expostos. Estes locais devem estar isolados com proteções fixas até uma altura de 2,7 metros acima do piso.

9. Esteira no posicionador de sacaria: este local apresenta risco de queda de altura. Neste local é necessária uma proteção fixa que elimine esse risco.

A paletizadora (Figura 4) apresenta sete pontos que necessitam melhoria. Estes locais estão identificados e numerados de dez (10) a dezesseis (16).

10. Dispositivos de intertravamento da porta da proteção fixa: as chaves de segurança eletromecânicas não estão instaladas em duplicidade, a fim de manter o estado seguro da máquina, e deveriam estar associadas a um comando elétrico ou interface de segurança.

11. Dispositivos de intertravamento da porta da proteção fixa: as chaves de segurança eletromecânicas não estão instaladas em duplicidade, a fim de manter o estado seguro da máquina, e deveriam estar associadas a um comando elétrico ou interface de segurança.

12. Dispositivos de intertravamento da porta da proteção fixa: as chaves de segurança eletromecânicas não estão instaladas em duplicidade, a fim de manter o estado seguro da máquina, e deveriam estar associadas a um comando elétrico ou interface de segurança.

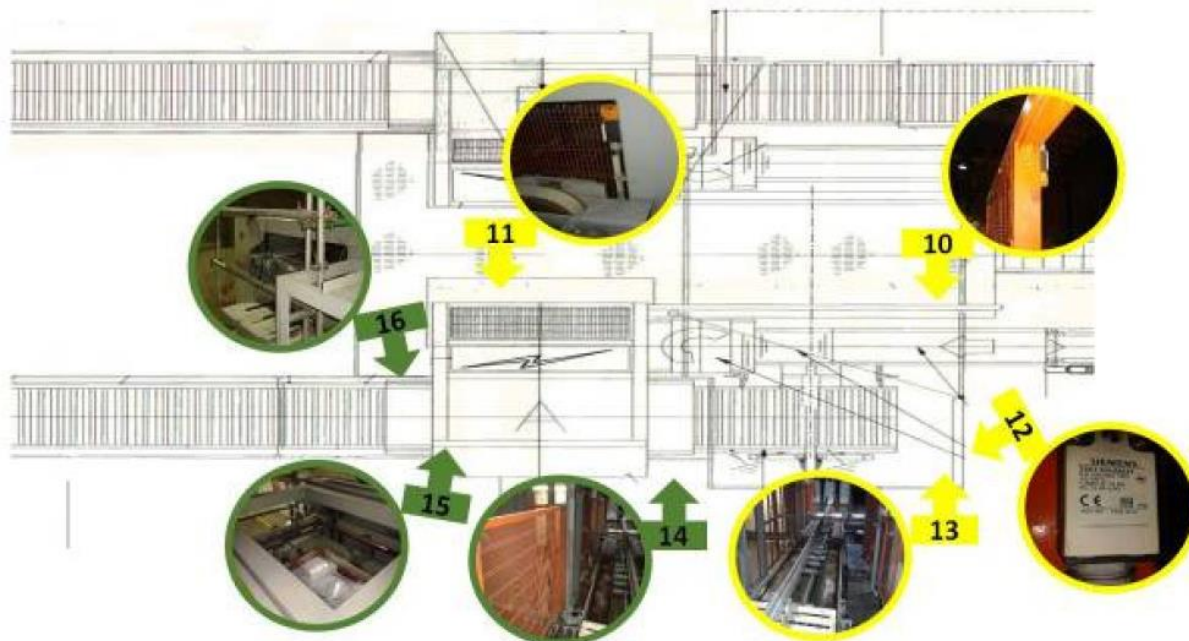


Figura 4: Desenho da paletizadora com indicação das melhorias.

13. Esteira de pallets no sentido norte/sul: este local é protegido por uma tela metálica, porém, não existe nenhum tipo de sensor de segurança, pois existe o risco de um trabalhador entrar nesta área, fechar a porta que o dispositivo de intertravamento está instalado, e assim as máquinas voltam a funcionar.

14. Entrada de pallets na paletizadora: este local possui uma proteção fixa, porém, ela permite que uma pessoa fique posicionada entre a grade e o pallet com sacarias. Não existe nenhum tipo de sensor de segurança.

15. Acesso superior a paletizadora: existe um acesso que permite que o trabalhador se aproxime do pallet para colocar uma sacaria manualmente, por exemplo. É necessária uma proteção fixa que não permita o acesso do trabalhador.

16. Acesso frontal a paletizadora: neste local existe acesso a partes móveis da máquina. Não existe proteção fixa no local.

A máquina de *strech* (Figura 5) apresenta nove pontos que necessitam melhoria. Estes locais estão identificados e numerados de dezessete (17) a vinte e cinco (25).

17. Acesso traseiro ao interior da máquina de *strech*: neste local é possível o acesso de um trabalhador durante a operação da máquina. Não existe nenhum sensor de segurança que monitore a presença de uma pessoa.

18. Acesso frontal ao interior da máquina de *strech*: neste local é possível o acesso de um trabalhador durante a operação da máquina. Não existe nenhum sensor de segurança que monitore a presença de uma pessoa.

19. Escada de marinheiro: existe uma escada de marinheiro dentro da zona de perigo que permite o acesso do trabalhador a uma estrutura superior da máquina sem que exista o monitoramento eletrônico da presença do trabalhador.

20. Acesso ao entorno da máquina de *strech*: este local é protegido por tela metálica e possui acesso por duas portas. Estas portas possuem chave de segurança, que fazem com que o equipamento pare ao serem abertas, porém, não existe nenhum tipo de monitoramento eletrônico, que verifique a presença do trabalhador, pois existe

o risco de um trabalhador entrar nesta área, fechar a porta que a chave de segurança está instalada, e assim as máquinas voltam a funcionar com ele dentro da máquina.

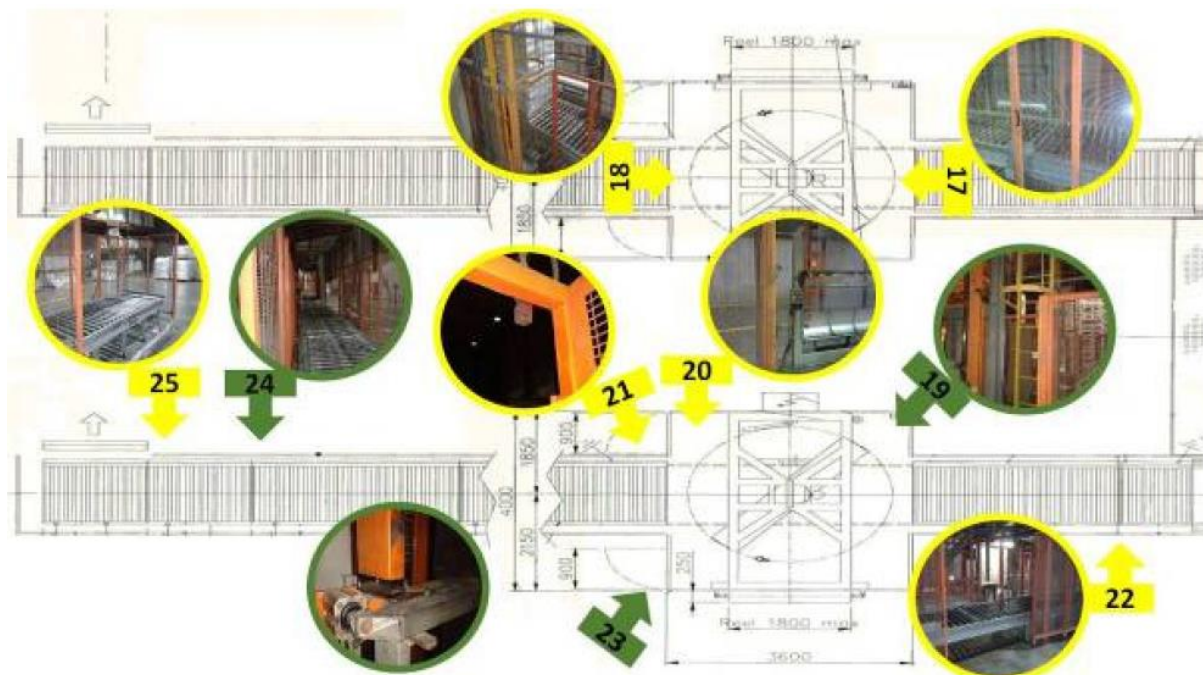


Figura 5: Desenho da máquina de *stretch* com indicação das melhorias.

21. Dispositivos de intertravamento da porta da proteção fixa: as chaves de segurança eletromecânicas não estão instaladas em duplicidade, a fim de manter o estado seguro da máquina, e deveriam estar associadas a um comando elétrico ou interface de segurança.

22. Esteira na entrada da máquina de *stretch*: a presença de uma porta, geralmente aberta, permite o acesso de um trabalhador, pois não existe nenhum dispositivo de intertravamento que pare a máquina ou algum sensor de segurança de monitoramento de pessoas.

23. Guilhotina corta capa: a presença da guilhotina oferece um risco, pois se trata de um dispositivo a parte, que deve ser modificado seu acionamento, com recurso de comando bimanual para evitar acidentes com os membros superiores do trabalhador. Esse dispositivo está posicionado dentro da zona de perigo, necessitando monitoramento eletrônico de presença ou um novo posicionamento deste equipamento.

24. Esteira na saída da máquina de *stretch*: a esteira conta com proteção fixa, porém, existe uma distância de 45 cm entre ela e o pallet carregado de sacarias, permitindo que uma pessoa seja esmagada.

25. Saída dos pallets carregados: a presença de uma porta permite o acesso de um trabalhador, pois não existe algum dispositivo de intertravamento que pare a máquina ou algum sensor de segurança de monitoramento de pessoa.

4 CONCLUSÃO

Como apresentado inicialmente no artigo, a condição dos sistemas de segurança da ensacadeira de pellets de polímero, por não atender plenamente a nova NR-12, pode gerar dano à saúde e segurança dos trabalhadores envolvidos, e o

desenvolvimento deste trabalho apresentou importantes informações sobre as condições destes equipamentos. Foram encontrados 77 itens de não conformidades, de um total de 448 obrigações descrita na legislação. Esses itens não conformes são de grande importância para identificar e refletir sobre as situações que geram risco a integridade física e a saúde dos trabalhadores.

A partir da identificação das não conformidades foram encontradas seis áreas de grande representatividade e que foram um dos focos da discussão. Essa divisão permitiu mapear todas as necessidades de adequação conforme a norma.

A análise individual de cada área permitiu identificar a ausência de sistemas de segurança dos equipamentos, como por exemplo, cortinas de luz, chaves de segurança em duplicidade e scanner de monitoramento de presença de pessoas, sendo que “sistemas de segurança” foi a área com maior número de não conformidades. No que diz respeito à capacitação dos trabalhadores que operam a máquina foi evidenciado a falta de um treinamento obrigatório de oito horas, com objetivo de instruir quanto ao funcionamento dos dispositivos de segurança e com foco na segurança durante a operação da máquina, sendo a segunda área com maior número de não conformidades.

As manutenções e inspeções, terceira maior área com não conformidades, não estão sendo registradas, sendo assim essas informações não estão disponíveis aos trabalhadores, ao SESMT, e à CIPA. A ausência de peças de reposição também foi evidenciada, não sendo possível, por exemplo, repor uma chave de segurança quando danificada. As sinalizações escritas em língua inglesa, assim como as placas em locais de difícil visualização e a ausência de placas de advertência, fazem com que essa área seja a quarta maior com não conformidades.

Na quinta maior área, instalações e dispositivos elétricos, foram evidenciadas portas de painéis elétricos com livre acesso por todos os trabalhadores e ausência de sinalização quanto ao perigo de choque elétrico. Os transportadores de materiais é a sexta área com maior número de não conformidades devido a vários pontos de esmagamento ou agarramento expostos e, até mesmo, locais onde existe risco de queda de altura.

Este trabalho identificou 12 pontos da máquina que necessitam adequar ou instalar proteções fixas ou móveis e outros 13 locais que necessitam adequar ou instalar dispositivos pneumáticos e eletro-eletrônicos.

A ensacadeira possui pontos de acesso à zona de perigo na parte traseira e frontal, onde possui possíveis pontos de esmagamento, por não ter proteção. As portas da máquina não possuem chaves de segurança em duplicidade, e não estão associadas a nenhum comando elétrico com função de segurança, a fim de manter o estado seguro da máquina.

Tanto a esteira de pallets, como a esteira de sacarias, permitem acesso à zona de perigo, sem a presença de proteção em partes móveis, com possíveis riscos de esmagamentos. Ao longo da esteira também existe risco de queda de altura de um trabalhador.

A paletizadora não apresenta chaves de segurança em duplicidade e as mesmas não estão associadas a nenhum comando elétrico com função de segurança, assim como, existem diversas partes que permitem o acesso de um trabalhador a zonas de perigo, sem nenhum tipo de monitoramento eletrônico de presença, que impeça que a máquina volte a funcionar com o trabalhador dentro.

A máquina de *strech* permite o acesso traseiro ou frontal às zonas de perigo durante a operação da máquina, não tendo um sensor que monitore a presença do trabalhador dentro do equipamento.

A máquina de *strech* permite o acesso traseiro ou frontal às zonas de perigo durante a operação da máquina, não tendo um sensor que monitore a presença do trabalhador dentro do equipamento.

Durante a execução deste trabalho não foram executadas as melhorias e adaptações.

As correções foram apresentadas ao setor de Projetos da empresa e as melhorias foram discutidas entre todos os setores envolvidos (Operação, Segurança Industrial, Projetos e Manutenção) para compor um plano de ação e um cronograma de execução das melhorias.

REFERÊNCIAS

- 1 BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Acidentes do Trabalho com Máquinas no Brasil (Arquivo). Brasília, DF. 2015. [Online]. Disponível em: <<http://portal.mte.gov.br>>. Acesso em: AGO 2015.
- 2 BRASIL. Lei no 6.514, de 22 de dezembro de 1977. Presidência da República. Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos, Brasília, DF. 1977. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: SET 2015.
- 3 BRASIL. NR 12 - Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos. 2015. Disponível em: <<http://portal.mte.gov.br>>. Acesso em: MAI 2015.
- 4 CORREA, M. U. Sistematização e aplicações da NR-12 na segurança em máquinas e equipamentos. 2011. Dissertação (Pós Graduação) - Departamento de Ciências Exatas e Engenharias - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí, Rio Grande do Sul.
- 5 GONÇALVES, Edwar Abreu. Segurança e medicina do trabalho em 1200 perguntas e respostas. 3a ed. São Paulo: LTr, 2000.
- 6 GONÇALVES, Edwar Abreu. MANUAL DE SEGURANÇA E SAUDE NO TRABALHO. 3a Ed. São Paulo: LTr, 2000.
- 7 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR NM 272. Segurança de máquinas - Proteções - Requisitos gerais para o projeto e construção de proteções fixas e móveis. Rio de Janeiro, 2002.
- 8 OSADA, Takashi. Housekeeping, 5s's cinco pontos-chaves para o ambiente da qualidade total. 1a ed. São Paulo: Instituto IMAM, 1992.
- 9 GARDIN, Eduardo Oliveira. Alerta de perigo: um guia para evitar os acidentes no trabalho. 1a ed. São Paulo: LTr, 2001.

ESTUDO DE CASO: CORROSÃO EM SISTEMA DE PRODUÇÃO DE ETENO UTILIZANDO ETANOL

Henke, F. K.¹
Meneguzzi, A.²
Moreira, V.B.³

¹ Engenheira química, Fernanda Konzen Henke, PPGE3M UFRGS, fernanda.konzen@hotmail.com

² Engenheiro químico, Dr, Álvaro Meneguzzi, PPGE3M UFRGS, meneguzzi@ufrgs.br

³ Engenheiro de Materiais, MSc, PPGE3M UFRGS, vitor.bonamico@hotmail.com

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

Resumo

A corrosão de equipamentos e tubulações é um problema que atinge a confiabilidade de processos e segurança de pessoas devido ao alto potencial de vazamentos de produtos perigosos. O presente trabalho apresenta o estudo de caso de um problema de corrosão em linhas e equipamentos que fazem parte do processo de fabricação de eteno proveniente do etanol. Foram realizadas avaliações do poder corrosivo do fluido versus material utilizado no processo produtivo. Os ensaios utilizados para caracterizar a corrosão e o potencial corrosivo foram: análise visual e espectroscopia por fluorescência de raios X da peça corroída, análise química, análise da concentração de ferro no fluido de processo e ensaio de polarização potenciodinâmica para identificar o poder corrosivo do eletrólito versus o metal. Após identificar que a solução possuía alta taxa de corrosão, buscou-se avaliar soluções para aplicação nos equipamentos. Foram avaliados revestimentos poliméricos e metálicos, que, em testes de laboratório, tiveram bom desempenho para proteção quanto à corrosão, porém possuem dificuldades para garantir a qualidade de aplicação em áreas grandes, sendo que o revestimento metálico necessita aplicação de selante. Também foi realizada avaliação de desempenho de materiais mais nobres como os aços inox. Diferentes ligas foram avaliadas utilizando polarização potenciodinâmica, com o fluido de processo como eletrólito, e a liga que apresentou menor taxa de corrosão foi o aço inox 316. Conclui-se que as melhores alternativas para combater a corrosão seriam aspersão térmica de metal mais nobre ou troca do material existente por aço inox 316.

Palavras-chave: Corrosão; etanol; eteno;

CASE STUDY: CORROSION IN AN ETHENE PRODUCTION SYSTEM USING ETHANOL

Abstract

Corrosion of equipment and piping is a problem that affects the reliability of processes and the safety of people due to the high potential of dangerous product leaks. The present work presents the case study of a problem of corrosion in lines and equipments that are part of the process of manufacture of ethene from ethanol. Evaluations of the corrosive power of the fluid versus material used in the production process were carried out. The tests used to characterize the corrosion and corrosive potential were: visual analysis and X-ray fluorescence spectroscopy of the corroded

part, chemical analysis, iron concentration analysis in the process fluid and potentiodynamic polarization test to identify the corrosive power of the electrolyte versus the metal. After identifying that the solution had a high corrosion rate, we tried to evaluate solutions for application in the equipment. Polymeric and metallic coatings were evaluated, which, in laboratory tests, had good performance for corrosion protection, but have difficulties to guarantee the application quality in large areas, and the metallic coating requires application of sealant. Performance evaluation of nobler materials such as stainless steels was also performed. Different alloys were evaluated by potentiodynamic polarization, using the process fluid as electrolyte, and the alloy that presented the lowest corrosion rate was 316 stainless steel. It was concluded that the best alternatives to combat corrosion would be thermal sprinkling of more noble metal or exchange of existing material with 316 stainless steel.

Key words: Corrosion; ethanol; ethylene;

1 INTRODUÇÃO

A maioria dos metais é encontrada em forma de minerais em seu estado de origem e, utilizando de processos que demandam energia, são convertidos em metais. Quando o metal encontra um meio propício à oxidação ele é novamente convertido em um óxido do metal, perdendo características essenciais como resistência mecânica, ductilidade e elasticidade (Schweitzer, 2010).

Um dos fatores-chave para a corrosão é o ambiente em que se encontra o metal, dentre os quais se destaca a corrosão em meio aquoso. Como exemplo, podem ser citados: a umidade do ar, a água marinha ou misturas aquosas em indústrias. A água pode conter diversos tipos de sais ou gases dissolvidos, que deixam a água com maior condutividade e aumentam o seu caráter corrosivo (Trethewey, 1994).

Na indústria química e petroquímica a corrosão de tubulações e/ou equipamentos é um problema sério, pois pode causar acidentes de processo, com vazamento de produtos tóxicos e/ou inflamáveis, e parada de unidades, gerando perdas de produção.

Segundo Panonni (2015), os métodos mais utilizados para prevenir ou controlar a corrosão são a aplicação de revestimentos ou inibidores, uso de metais e ligas resistentes à corrosão, modificação do processo construtivo ou do meio corrosivo.

O presente trabalho apresenta um estudo de caso envolvendo reações de desidratação do etanol a eteno em sistemas de aço carbono, no qual vários pontos do processo apresentam corrosão severa. O objetivo é realizar avaliação do meio corrosivo e dos metais envolvidos e propor formas de controle da corrosão.

1.1 Processo de Produção de eteno utilizando etanol

O presente estudo será realizado em uma planta de produção de eteno utilizando etanol como matéria-prima. O insumo é empregado na fabricação de resinas termoplásticas. O polietileno de fonte renovável possui a mesma aplicabilidade do polietileno de origem fóssil, sendo que também pode ser reciclável e não é considerado biodegradável.

O eteno é produzido a partir do etanol proveniente da cana-de-açúcar. Sabendo que as plantas recuperam CO₂ e transformam em oxigênio, pode-se dizer que o projeto

propõe a captura de CO₂ com o plantio da cana-de-açúcar ao invés da extração de petróleo, que é a matéria-prima usualmente utilizada para produção de eteno. A reação principal envolvida no processo de produção do etileno é a desidratação catalítica do etanol, gerando eteno e água, conforme Equação 1.



A seguir estão descritos os principais processos utilizados na produção de eteno utilizando a desidratação do etanol.

De forma genérica, a planta industrial está dividida entre armazenamento de etanol, aquecimento de etanol e reação, condensação da água formada, compressão do gás, lavagem dos gases com água e solução de soda caustica, retirada da umidade através de secagem do gás e purificação, quando ocorre separação dos componentes mais leves como etano e CO, e por último, armazenamento e envio para clientes. O processo é demonstrado no diagrama de blocos da figura 1.

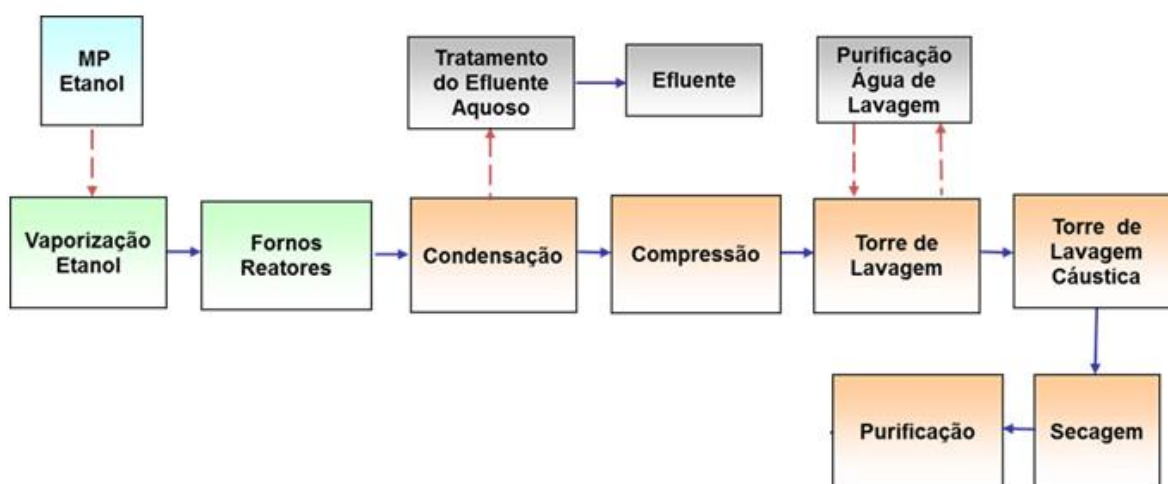


Figura 1 Fluxograma de Produção da Planta.

As etapas de reação e condensação serão as mais detalhadamente exploradas, pois são as etapas onde foram identificados furos nas tubulações e equipamentos.

A reação é realizada em reatores de leito fixo em altas temperaturas, por isso antes de reagir, o etanol é vaporizado e aquecido. Após a reação, a mistura de eteno, água e impurezas é encaminhada para a área de condensação, na qual, utilizando resfriamento, a água é condensada. Esse processo é realizado na torre de condensação que possui duas seções de recheio metálico. O líquido da torre de condensação recebe injeção de solução de soda cáustica para ajuste de pH em 7,5.

1.2 Descrição do Problema

Os eventos de perda de inventário devido a furos ocasionados por corrosão do aço carbono aconteceram nos seguintes pontos: nas tubulações que encaminham os produtos da reação para os demais reatores e que enviam o produto em caso de pressurização para um sistema de alívio para local seguro, que é liberado através de válvulas de segurança (esse sistema é utilizado somente em caso de emergência e comumente fica sem fluxo); e no costado da torre de condensação. O desenho

esquemático do reator é demonstrado na figura 2. A tubulação onde o fluido fica estagnado é a de cor clara na imagem, a mesma em que ocorreram os furos.

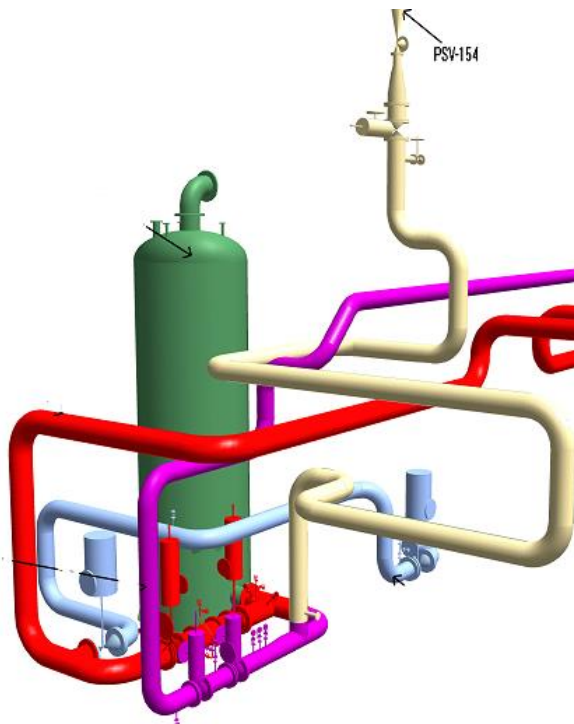


Figura 2 - Tubulações que apresentam corrosão

Para entender melhor as causas da severa corrosão observada nesse sistema foram estudados os mecanismos de corrosão que envolvem os materiais e a mistura em questão. Segundo CHOUDARY et al (2012), os parâmetros que influenciam na agressividade e na morfologia da corrosão: potencial eletroquímico do meio, uso de inibidores, características metalúrgicas e microestruturais do material (aço) e práticas operacionais (procedimentos de carregamento e esgotamento de tanques, agitação, transporte, tempo de residência – estudos evidenciam ocorrência de corrosão em aço em banho estagnado de etanol tanto anidro quanto hidratado, o que é minimizado quando há movimentação relativa do meio com o material).

Conforme Kane et al (2003), em estudos realizados para problemas em sistemas de combustão a etanol, os parâmetros que influenciam fortemente para corrosão em meios com etanol são:

- a) pH, influenciado fortemente por ácido acético (impureza e subprodutos da combustão do etanol) e ácido sulfúrico (do processo produtivo);
- b) Teor de água (umidade);
- c) Concentração de sais inorgânicos;

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios utilizados visaram caracterizar a severidade do meio corrosivo aos metais utilizados e estão descritos a seguir:

- A) Análise visual da peça para identificar o tipo de corrosão: utilizando da análise de corpos de prova, retirados dos equipamentos e tubulações foi realizada

comparação com peças apresentadas na literatura.

- B) Medida de condutividade: a mistura proveniente dos reatores foi condensada utilizando sistema de Kitassato e resfriamento para condensação dos compostos pesados e a condutividade foi medida utilizando um condutímetro AZ8361. Também foi realizada medida de pH da mistura para identificar teor de acidez do meio.
- C) Análise química da composição do meio líquido por análises de cromatografia gasosa e iônica utilizando do método COP57L. Esse método utiliza uma coluna HP-FFAP, cuja fase estacionária é de polietileno glicol modificado, ideal para a detecção de ácidos graxos.
- D) Análise da concentração de ferro no eletrólito, ensaio de fotometria para identificar a concentração de íons ferro no meio reacional nas diversas etapas do processo.
- E) Polarização potenciodinâmica para o cálculo das taxas de corrosão. Foi utilizado um potenciostato Autolab PGSTAT 302 (Ecochemie). A célula eletroquímica foi montada conforme figura 2, utilizando como eletrodo o metal de trabalho (sendo aço a ser caracterizado), ou seja, o potenciostato foi ligado a uma célula eletroquímica de 3 eletrodos (contra eletrodo de Pt e eletrodo de referência Ag|AgCl) (figura 3). O eletrólito utilizado foi a mistura líquida coletada no processo e a área do eletrodo de trabalho exposta ao eletrólito foi de $0,63 \text{ cm}^2$. Os ensaios foram realizados à temperatura ambiente. Foram realizadas varreduras na faixa de potenciais entre $-0,5\text{V}$ e $+0,5\text{V}$ com relação ao potencial do circuito aberto medido para cada célula ao longo de 5 minutos, com taxa de varredura de $0,004 \text{ V/s}$ e passo de potencial de $0,001\text{V}$. Foi utilizado software Nova 1.11.1 desenvolvido pela Metrohm Autolab B.V para fornecimento das curvas de polarização e obtenção do potencial de corrosão.

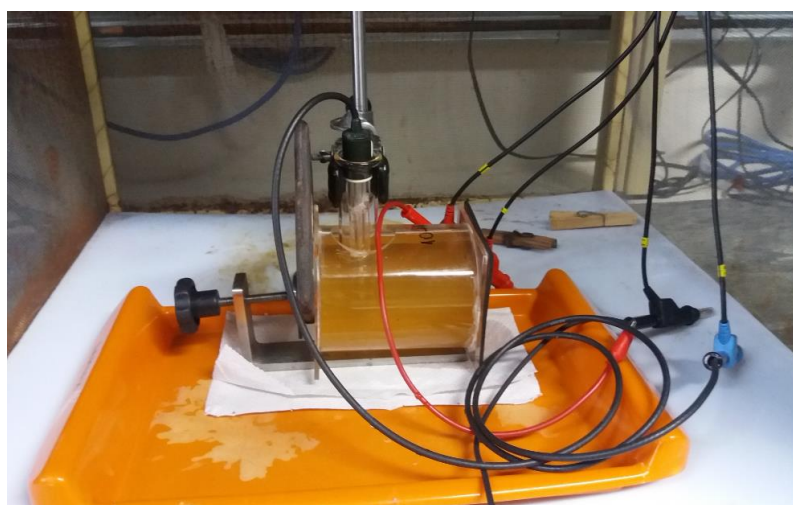


Figura 3 - Material utilizado para o ensaio de polarização potenciodinâmica

- F) Espectroscopia por fluorescência de raios-x para determinar a composição química dos sólidos equipamento Niton XL3t GOLDD+.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise visual da peça foi realizada utilizando comparativos da literatura (Pannoni, 2015) e identificou corrosão generalizada atrelada a um processo de erosão, conforme figura 4 abaixo:



Figura 4- a) Parede interna da torre de condensação b) parede interna da tubulação

Como a temperatura de operação na saída do reator é muito alta, mantendo a água na fase vapor seco, verificou-se que somente ocorre a corrosão em trechos onde o fluido fica estagnado, fazendo assim com que a temperatura diminua ao longo da tubulação, permitindo a condensação de compostos corrosivos ao meio. Na torre de condensação também é observado que a corrosão ocorre somente na faixa onde há a condensação do fluido. Na área onde ocorre a neutralização com solução de soda cáustica não há corrosão.

As análises de composição do efluente do meio reacional em contato com o metal identificaram os seguintes compostos representados no quadro abaixo:

Análise por GC (COP57L)	
Componente	Concentração (ppm massa)
Eteno	98
DEE	3
Acetaldeído	852
Propanal	3
Acetona	84
Butanal	10
Metanol	389
2-butanona	30
Etanol	2839
Acetato de isopentila	1
n-butanol	5
Álcool isoamílico	2
3-metil-1-butanol	4
Acetato de etilglicol	1
Ácido acético	7
Ácido propanoico	6
Hcs pesados	647
Ácido butanoico	6
Ácido pentanoico	9

Tabela 1 – Composição do líquido em contato com metal

Ao contrário do que era esperado, não foi encontrada grande quantidade de ácidos orgânicos, como ácido acético, porém a mistura é composta basicamente de água, etanol, acetaldeído e metanol que podem ser muito corrosivos para aços mais comuns. A amostra líquida coletada no reator apresentou pH igual a 5, que é um valor bastante corrosivo ao aço carbono. A condutividade da solução analisada apresentou um valor maior que a do etanol utilizado como matéria-prima, com condutividades de 341 μS e 3 μS , respectivamente. Ainda foram realizadas análises da presença de íons Fe^{2+} em diferentes pontos do processo e foi detectado um aumento da concentração de Fe^{2+} ao longo do processo produtivo, indicando que estava ocorrendo um processo corrosivo que poderia levar a um aumento de condutividade do eletrólito e potencializando a corrosão nos equipamentos.

O ensaio de polarização potenciodinâmica demonstrou que o eletrólito é muito agressivo ao substrato utilizado no processo (liga de aço carbono). Foi realizada comparação da amostra de aço carbono com revestimento metálico de aço inox 304 aspergido termicamente (com e sem selante polimérico) e amostras de aço inox 304, 316 e 316Ti, conforme tabela 1. As taxas de corrosão foram calculadas com o auxílio das curvas de polarização com retas de Tafel. Os resultados apresentados abaixo (tabela 2) são médias de ensaios realizados em triplicata.

Amostra	Taxa de corrosão (mm/ano)
Aço carbono	0,64
Aço com revestimento metálico aspergido	0,10
Aço com revestimento metálico aspergido com selante polimérico	0,02
Aço inox 316	0,02
Aço inox 316Ti	0,02
Aço inox 304	0,03

Tabela 2- Taxas de corrosão calculadas com o auxílio de ensaio de polarização potenciodinâmica

Nota-se que o aço carbono sofre corrosão mais severa em comparação a todos os demais materiais avaliados. Adicionalmente, é salientada a importância do uso de um selante polimérico quando da aplicação de um revestimento por aspersão térmica, uma vez que essa barreira adicional normalmente apresenta porosidades em função do método de aplicação e propicia uma redução de aproximadamente 80% na taxa de corrosão observada.

4 CONCLUSÃO

As análises demonstraram que o líquido presente no processo é um eletrólito corrosivo a ligas de aço carbono comum. A corrosão acontece quando o vapor seco proveniente do reator resfria e começa a condensar, e por isso esta acontece nas tubulações com fluido estagnado e na região de condensação da torre. Pelos testes realizados, foi possível concluir que a utilização da aspersão térmica de aço inox no metal protegeria o metal contra os danos corrosivos. Ainda, constata-se que o revestimento aliado a uma camada de selante polimérico tem uma taxa de corrosão melhor, semelhante à do aço inox 316 e 316Ti. O inox 304L também apresenta resultados semelhantes e poderia ser utilizado como alternativa de maior viabilidade econômica.

Como a adição de inibidores de corrosão ou outros produtos químicos ao processo produtivo citado poderia prejudicar outras características do produto final, pois há retorno de correntes para o início do processo produtivo, essas alternativas não foram estudadas. A solução seria a troca do material ou aplicação do revestimento citado acima nas tubulações e equipamentos da unidade produtiva.

Agradecimentos

Agradeço especialmente à empresa em que se aplicou o trabalho, por questões de confidencialidade não será citado nome, que fomenta o conhecimento de seus integrantes, buscando sempre excelência a segurança de pessoas e excelência de processos.

Agradecimento também aos colegas de trabalho, Gabriela Damo e Luis Carlos Greggianin que auxiliaram muito no estudo do problema.

Agradecimento especial a UFRGS e aos professores Álvaro Meneguzzi e Jane Zoppas e ao mestrando Victor Moreira que auxiliaram na discussão e forneceram conhecimentos valiosos sobre corrosão e proteção de materiais.

REFERÊNCIAS

- 1 SCHWEITZER, A. P. Fundamentals of Corrosion. Mechanisms, Causes, and Preventive Methods. 2010.
- 2 TRETHERWEY, K. R., and Roberge, P. R. (eds.), Modelling Aqueous Corrosion: From Individual Pits to Corrosion Management, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 1994, pp. 399–416.
- 3 PANNONI, F. D. Princípios da Proteção de Estruturas metálicas em Situação de Corrosão e Incêndio. 6ª edição. 2015.
- 4 Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurements, 2015.
- 5 MOREIRA, Anna Ramus; PANOSSIAN Zehbour; BRAGAGNOLO Gislaine Maria; SANTOS Célia A. Lino dos; GANDUR Marcelo C.; SOUZA Emerson Monteiro. Corrosividade do etanol anidro, do etanol hidratado e da mistura combustível E25 (25% etanol/75% gasolina)
- 6 CHOUDARY, N. V., Bharat Petroleum Corp. Ltd., Greater Noida; RAWAT, J. , Bharat Petroleum Corp. Ltd., Surajpur, India; Rao, P. V. C., Bharat Petroleum Corp. Ltd., Surajpur, India. What are the corrosion issues for gasohol? 05.01.2012
- 7 KANE, Dr. Russell D; MALDONADO Dr. Julio G; InterCorr International, Inc. Houston, TX Stress Corrosion Cracking of Carbon Steel in Fuel Grade. Ethanol: Review and Survey. API Technical Report 939-D, September 2003

ESTUDO DE UM SISTEMA HÍBRIDO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DE FONTES RENOVÁVEIS

Dias, M.M.¹, Santos, A.S.², Both, N.A.³, Fröhlich, M.A.⁴, Fett, J.R.⁵, Ferreira, L.D.⁶, Santos, V.B.⁷, Fröhlich, W.R.⁸, Andrade, B.P.B.⁹, Kauffmann, G.R.¹⁰, Rosa, N.O.¹¹, Fraga, J.C.G.¹², Silva, E.R.¹³

- ¹ Dr. Eng, Metalúrgica, Moisés de Mattos Dias, Prof. Eng. Eletrônica e Mestrado em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais, ICET, Universidade Feevale.
- ² Mestrando Tecnologia de Materiais e Processos Industriais, Alessandro Sarmento dos Santos, Universidade Feevale
- ³ Graduando Eng. Eletrônica, Nickolas Augusto Both, Universidade Feevale
- ⁴ Graduando Eng. Mecânica, Marco Antônio Fröhlich, Universidade Feevale
- ⁵ Graduando Eng. Eletrônica, Jonata Rocha Fett, Universidade Feevale
- ⁶ Graduando Eng. Eletrônica, Lucas Dariel Ferreira, Universidade Feevale
- ⁷ Graduando Eng. Eletrônica, Vanessa Borges dos Santos, Universidade Feevale
- ⁸ Graduando Eng. Eletrônica, William da Rosa Fröhlich, Universidade Feevale
- ⁹ Graduando Eng. Civil, Barbara Pisoni Bender Andrade, Universidade Feevale
- ¹⁰ Curso Técnico Mecânico, Gabriel Reis Kauffmann, Escola Técnica Liberato Salvano Vieira da Cunha
- ¹¹ Graduando Eng. Eletrônica, Natanael Oliveira da Rosa, Universidade Feevale
- ¹² Graduando Eng. Eletrônica, Julio Cesar Gomes Fraga, Universidade Feevale
- ¹³ Graduando Eng. Eletrônica, Eder Renato da Silva, Universidade Feevale

Resumo: Este trabalho teve por objetivo um estudo de um sistema híbrido para geração de energia a partir de fontes renováveis (eólica, solar e biomassa). O sistema compreende Aerogeradores, Módulos, Película e Rastreador Solar, Gerador a BioGás, mini estação meteorológica, painel de controle de carga para banco de baterias de 48 V e WebBox para monitoração de carga, O sistema prevê a alimentação de cargas resistivas até potência de 5 kW. Nos testes com carga, o sistema foi capaz de fornecer 2.463 W para meia carga e 4807 para carga total.

Palavras-chave: Energias Renováveis, Sistema Híbrido, Controladores de Carga,

STUDY OF A HYBRID SYSTEM FOR GENERATING ENERGY FROM RENEWABLE SOURCES

Abstract: The aim of this work was to study a hybrid system for generating energy from renewable sources (wind, solar and biomass). The system includes Wind Turbines, Modules, Film and Solar Tracker, BioGás Generator, mini meteorological station, load control panel for 48V battery bank and WebBox for load monitoring. The system provides the supply of resistive loads up to power of 5 kW. In load tests, the system was able to supply 2.463 W for half load and 4807 for full load.

Keywords: Renewable Energies, Hybrid System, Load Controllers,

1. INTRODUÇÃO

1.1. SISTEMA HÍBRIDO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA E ARMAZENAMENTO

Sistemas Híbridos São modos de obtenção de energia elétrica a partir de duas ou mais fontes, como solar-eólica, solar-diesel, entre outros. Estes sistemas estão sendo bastante utilizados por causa da eficiência em integrar sistemas novos ou já utilizados. A complementação é um dos pontos principais, pois no sistema eólico/solar, por exemplo, nos dias em que o céu estiver nublado e a obtenção de energia da placa fotovoltaica for reduzida o aerogerador continua sua produção sem interferência e sustenta o sistema [1].

Um sistema híbrido pode operar diretamente conectado à carga, que pode ser utilizada para bombeamento de água e aplicações que não exijam estabilidade e eficiência, por exemplo. Novamente citando o sistema eólico/solar não se pode armazenar ventos e luz, por isso durante os períodos de baixa geração e para a utilização posterior, o método convencional de armazenamento são as baterias. Utilizando baterias estacionárias de ciclo profundo tem-se o melhor desempenho com 4 a 5 anos de vida útil, já, as baterias de chumbo ácido, nestas aplicações, tem sua vida útil limitada a 2 anos. A figura 1 mostra um esquema de um sistema híbrido. Sistemas conectados a rede são conhecidos por On-Grid e não conectados como Off-Grid [1].

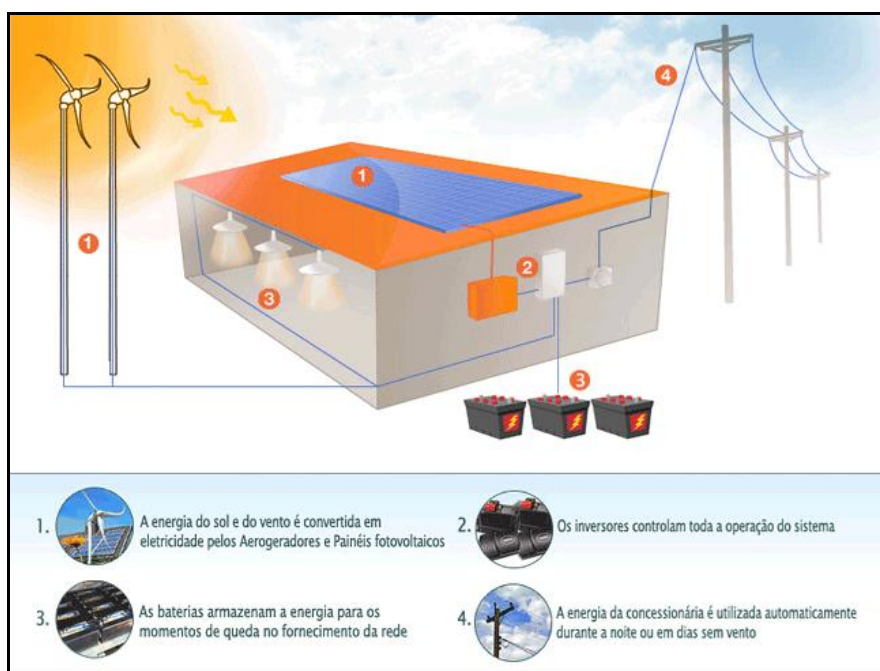


Figura 1 – Esquema de um Sistema Híbrido para Geração de Energia [1]

1.2. AEROGERADORES

Os aerogeradores são classificados em dois tipos, saber, Aerogerador Horizontal (figura 2), no qual o eixo onde as pás estão acopladas está na horizontal, e o Aerogerador Vertical (figura 3) no qual o eixo está no plano vertical. Os aerogeradores horizontais são utilizados em ambientes onde existe um fluxo constante e contínuo de ventos, como em regiões de pradaria ou praias. Os

verticais, embora possuam um desempenho inferior ao horizontal, podem ser utilizados em ambientes urbanos onde o vento não é uniforme devido as edificações [2,3,4].



Figura 2 – Aerogeradores Horizontais [2]

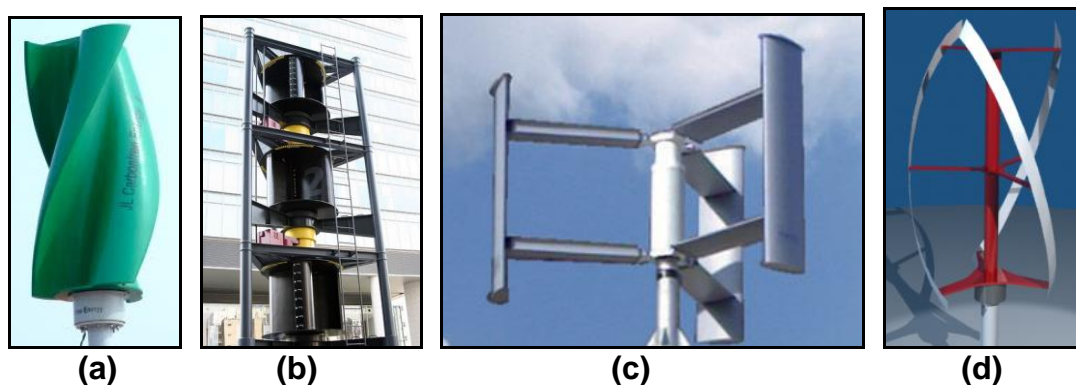


Figura 3 – Aerogeradores Verticais [3]

1.3. PAINEL E RASTREADOR SOLAR (TRACKER)

A energia solar é produzida em células fotovoltaicas quando sobre esta incide luminosidade. As principais tecnologias aplicadas na produção de células fotovoltaicas são classificadas em três gerações. A primeira geração é dividida em duas cadeias produtivas: silício monocristalino (m-Si) e silício policristalino (p-Si), que representam mais de 85% do mercado (figura 4), por ser uma tecnologia consolidada e confiável, e por possuir a melhor eficiência comercialmente disponível [5].

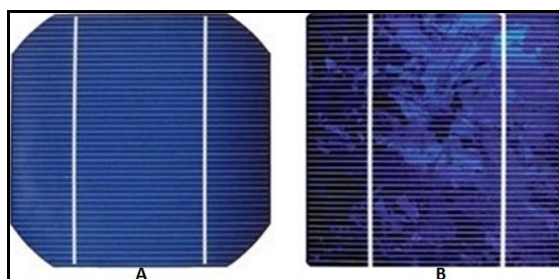


Figura 4 - (a) Célula silício monocristalino m-Si - (b) célula silício policristalino p-Si

Segundo a norma NBR10899, o módulo é o menor conjunto ambientalmente protegido de células solares interligadas, com o objetivo de gerar energia elétrica em corrente contínua. Um painel, é um ou mais módulos montados de modo a formar

uma única estrutura, é uma característica física de montagem. Arranjo é qualquer número de módulos, interligados eletricamente, de tal modo a prover uma única saída de corrente elétrica contínua, é uma característica elétrica. Sistema fotovoltaico é o conjunto de elementos necessários ao aproveitamento da energia radiante solar para uma dada aplicação, através da conversão fotovoltaica, além do arranjo fotovoltaico, podem ser necessários os elementos para controle supervisão, proteção, armazenamento de energia elétrica, fundação e suporte de estrutura (ABNT-NBR10899) [5].

A figura 5-a mostra um tracker (rastreador solar) o qual possui movimentos que acompanham o percurso do sol ao longo do dia. A figura 5-b mostra um parque fotovoltaico.



Figura 5 – Sistemas Solar – (a) Tracker [6] – (b) Parque Fotovoltaico [7]

1.4. GRUPO MOTOR-GERADOR

Grupos Geradores são utilizados como fonte principal ou como fonte auxiliar, para suprir a necessidade de energia de forma confiável em empreendimentos de todo e qualquer porte, para quaisquer aplicações, como indústrias, supermercados, shopping centers, hospitais, edifícios residenciais e comerciais, hotéis e outros. Os Grupos Geradores são constituídos por um gerador, acionado por motor de combustão, sendo este alimentado por combustível (óleo diesel, gás natural, biogás e outros). Os produtos STEMAC equipados com motores a gás produzem energia para geração de eletricidade e térmicos (figura 6) [8].



Figura 6 – Grupo Gerador a Gás produzido por Stemac [8]

2. METODOLOGIA

A Universidade Feevale, com o apoio da Secretaria do Desenvolvimento Econômico, Ciência e Tecnologia do Estado do Rio Grande, e tendo como parceiro a empresa JSA Engenharia Ltda, finalizou recentemente a implantação de um Sistema Híbrido para Geração de Energia a partir de Fontes Renováveis (Eólica, Solar e Biomassa). O projeto constou, além da implantação do Sistema Híbrido, no desenvolvimento (projeto, construção e testes) destes dispositivos, sendo portanto dividido em duas partes.

O projeto prevê suprir uma carga de 5 kW constante e continuamente, a partir de fontes renováveis. O Sistema Híbrido foi implantado no Prédio Verde da Universidade Feevale, pois se trata do prédio onde estão os Laboratórios das Engenharias Elétrica e Eletrônica, sendo portanto o local mais adequado, tanto para a instalação, quanto para os estudos realizados e também a serem realizados, uma vez que, se pretende prosseguir com estas pesquisas no futuro. O Sistema é composto por Fontes Solar, Eólicas e Biomassa, Controladores, Inversores e Sensores, conforme especificações a seguir. A figura 7 mostra um desenho do telhado do Prédio Verde, onde pode-se observar:

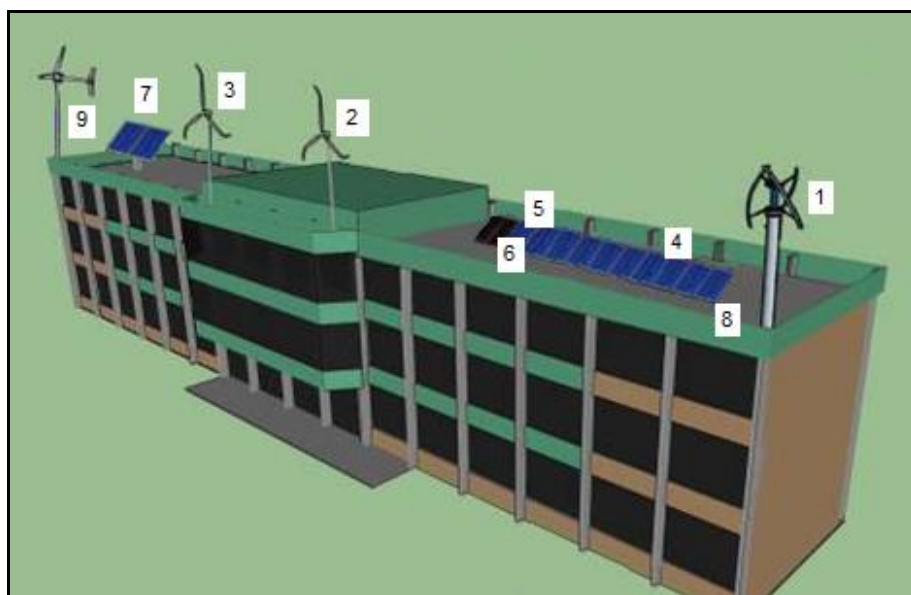


Figura 7 – Desenho esquemático do telhado do Prédio Verde onde estão instalados os Aerogeradores, Sistema Solar e Sensores

- (1) – Aerogerador Vertical de 1,5 kW
- (2) – Aerogerador Horizontal de 1 kW
- (3) – Aerogerador Horizontal de 2,5 kW
- (4) – Conjunto de 22 Módulos Solar de 250 W cada
- (5) – 2 Películas Solar de 85 W cada (adquirido neste projeto)
- (6) – 2 Módulos Solar de 90 W
- (7) – Rastreador Solar ou Tracker, composto de 4 módulos de 170 W cada
- (8) – Sensores de Irradiação Solar e Anemômetro
- (9) – Aerogerador de 2,5 kW (ainda não integrado ao sistema):

A figura 8-a mostra a vista do lado direito do telhado do Prédio Verde, e a figura 8-b mostra a vista do lado esquerdo.

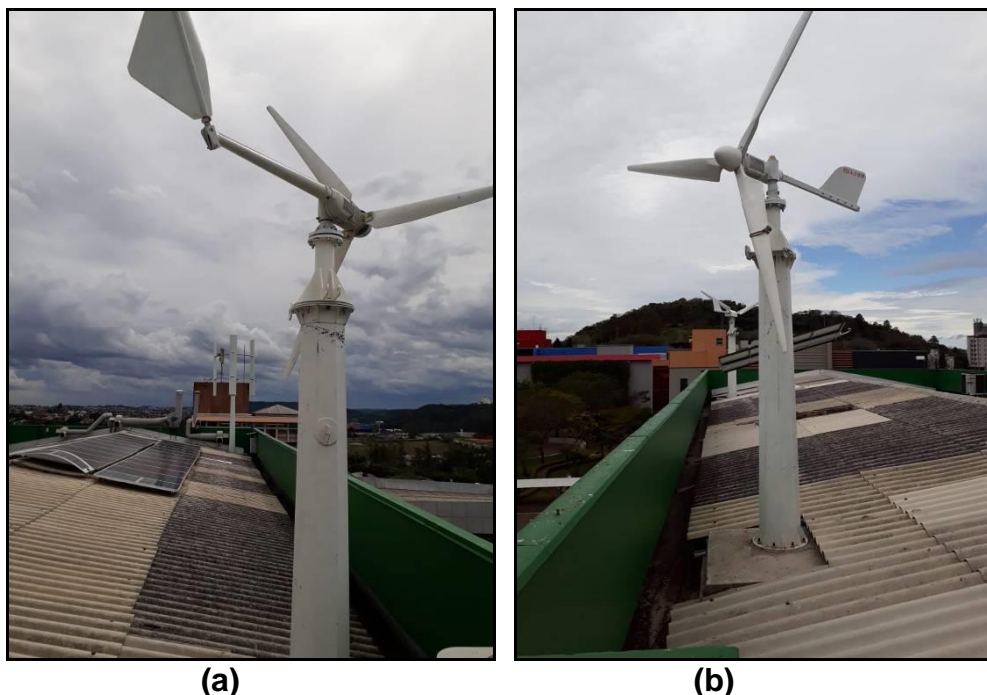


Figura 8 – Vista do Telhado do Prédio Verde – (a) Lado direito – (b) Lado Esquerdo

O Aerogerador Vertical ou turbina eólica RAZEC 266 fabricado pela empresa ENERSUD, é uma turbina de eixo vertical do tipo Darrieus H (figura 9-a) e está instalada no telhado do Prédio Verde. O Controlador (figura 9-b) está instalado na sala 309 do mesmo prédio.

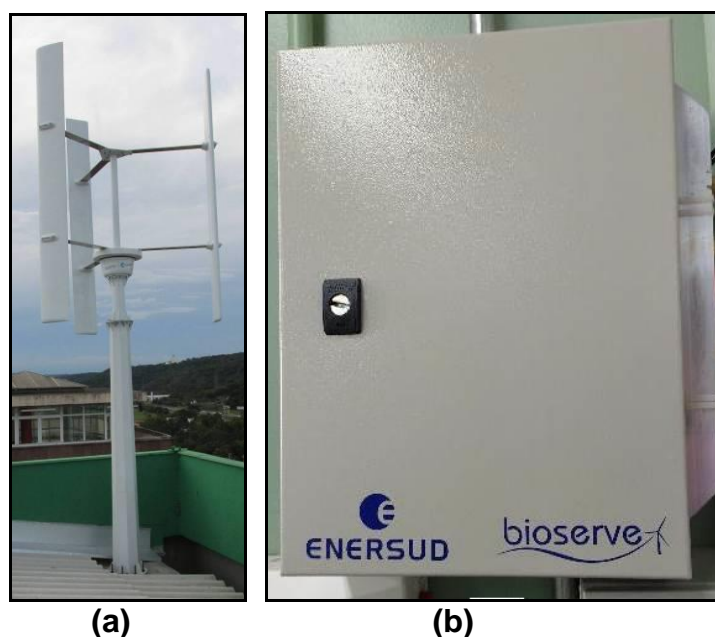


Figura 9 – Aerogerador Vertical de 1,5 kW – (a) Turbina – (b) Controlador

O Aerogerador Horizontal de 2,5 kW, é uma turbina eólica modelo FD3.8-2.5kW da empresa Shandong Huaya Ltda (figura 10-a) e está instalada no telhado do Prédio Verde. O Controlador (figura 10-b) está instalado na sala 309 do mesmo prédio:

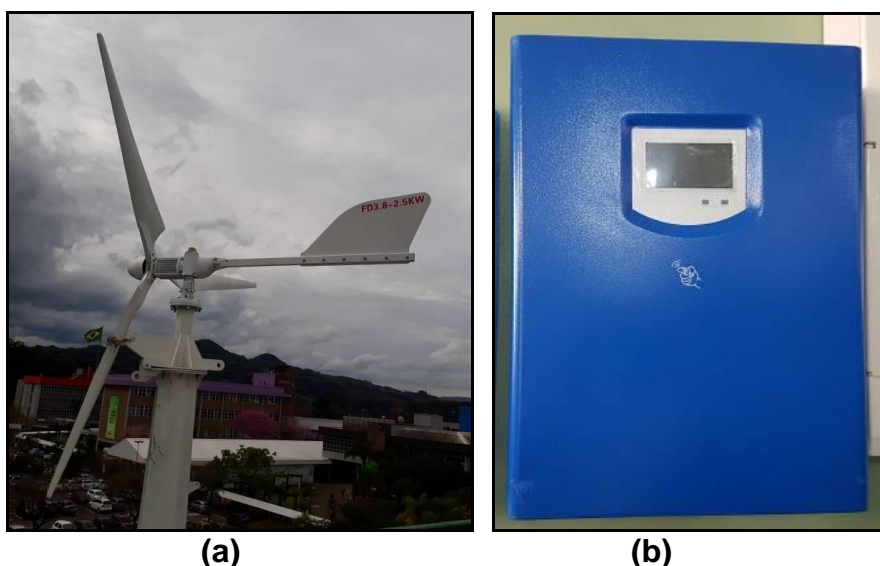


Figura 10 – Aerogerador Horizontal de 2,5 kW – (a) Turbina – (b) Controlador

O Aerogerador Horizontal de 1 kW, é uma turbina eólica modelo WM1000V, comercializado pela Work Wind Indústria a Comércio de Equipamentos para Produção e Armazenamento de Energia Eólica Ltda (figura 11-a) e está instalada no telhado do Prédio Verde. O Controlador (figura 11-b) está instalado na sala 309 do mesmo prédio.

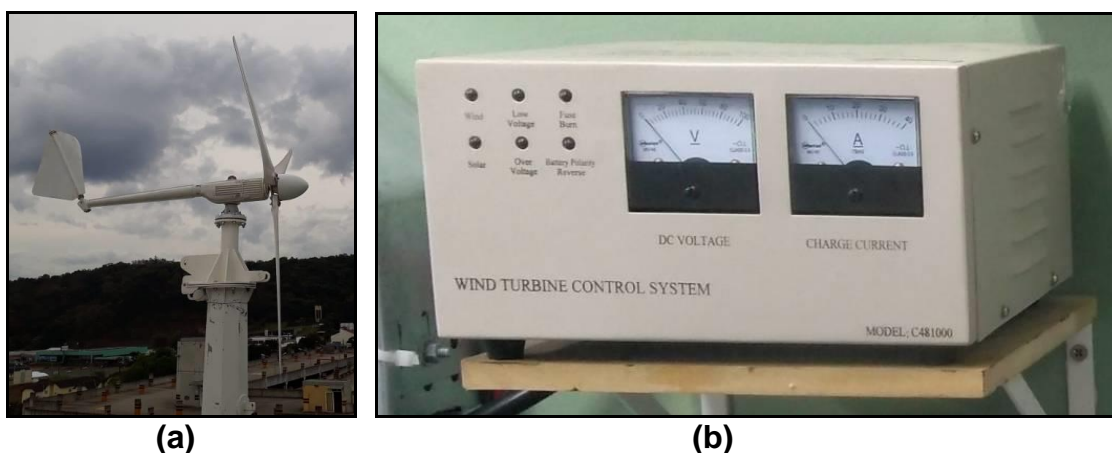


Figura 11 – Aerogerador Horizontal de 1 kW – (a) Turbina – (b) Controlador

O Gerador a Combustão, é um Grupo Motor-Gerador Padrão a Gás 6500 glp (adaptada na Universidade Feevale para GNV e Biometano – Biogás), comercializado pela S&S Grupo Geradores (figura 12-a) e está instalada em uma estrutura de alvenaria com paredes reforçada ao lado do Prédio Verde (figuras 12-b e 12-c). O Controlador (figura 12-d) e o Retificador e carregador de bateria (figura 12-e), está instalado na sala 309 do mesmo prédio.

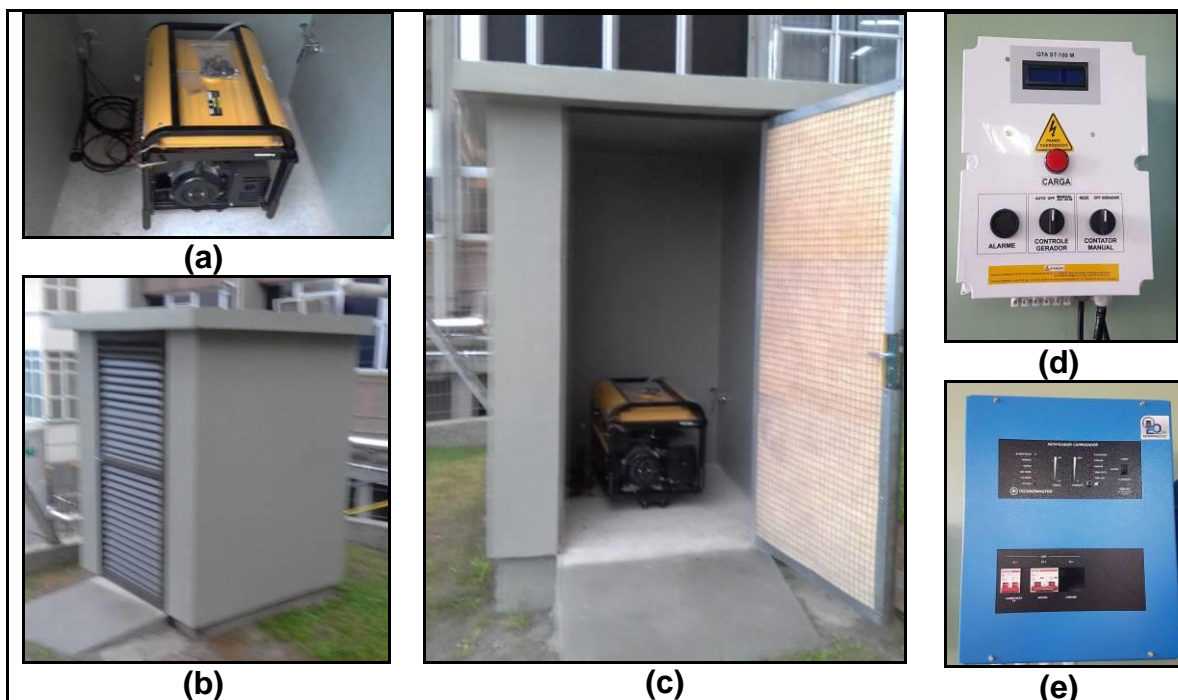


Figura 12 – Gerador a Combustão – (a) Vista – (b) Local de Instalação – (c) Gerador Instalado – (d) Controlador – (e) Retificador e Carregador de Bateria

O Painel Solar composto por 22 Módulos Solar com Potência Nominal de 240 W e Máxima de 250 W marca Kyocera (figura 13-a) está instalado no telhado do Prédio Verde (figura 13-b). Para Controle de Carga e Carregamento das baterias, além de uma quadro de conexão e proteção com fusíveis e disjuntores (figura 14-a), foram adquiridos dois Controladores PWM VS4548BN ViewStar da Epsolar com capacidade de 45 A e tensão de saída de 12/24/48 V (figura 14-b) para o Controle de 6 Módulos cada, e um Controlador VS6048BN com Capacidade de 60 A (figura 14-c) para os outros 10 Módulos. Cada conjunto foi ligado em série de dois e três paralelos (seis Módulos), e paralelo de cinco (dez Módulos) Os Controladores estão instalados na sala 309 do mesmo prédio.



Figura 13 – Painel Solar – (a) Módulos – (b) Instalação dos 22 Módulos



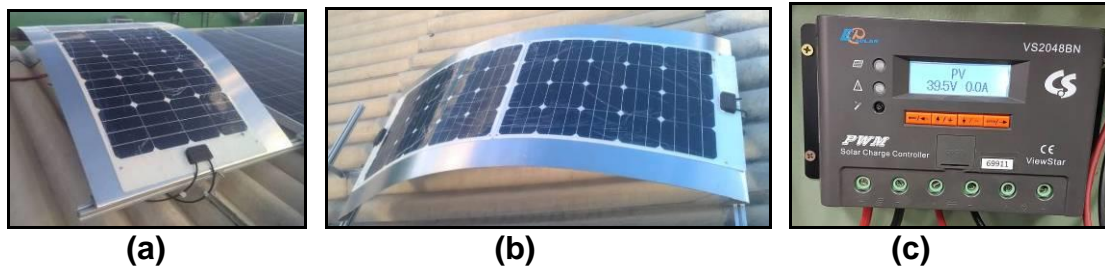
(a) (b) (c)
Figura 14 – Controladores do Painel tipo PWM ViewStar da Epsolar – (a) Quadro de Conexões e Proteção – (b) VS4548BN para dois conjuntos de 6 Módulos – (c) VS6048BN para 10 Módulos

O Tracker, é um Rastreador Solar ST1 fabricado pela empresa ENERSUD, composto por 4 Módulos Solar com Potência Nominal de 140 W e Máxima de 150 W marca Kyocera, e está instalado no telhado do Prédio Verde (figura 15-a). O Controlador é um PWM VS3048BN ViewStar da Epsolar com capacidade de 30 A e tensão de saída de 12/24/48 V (figura 15-b) e está instalado na sala 309 do mesmo prédio. Além do controlador, também foi utilizado o mesmo quadro de conexão mostrado na figura 14-a.



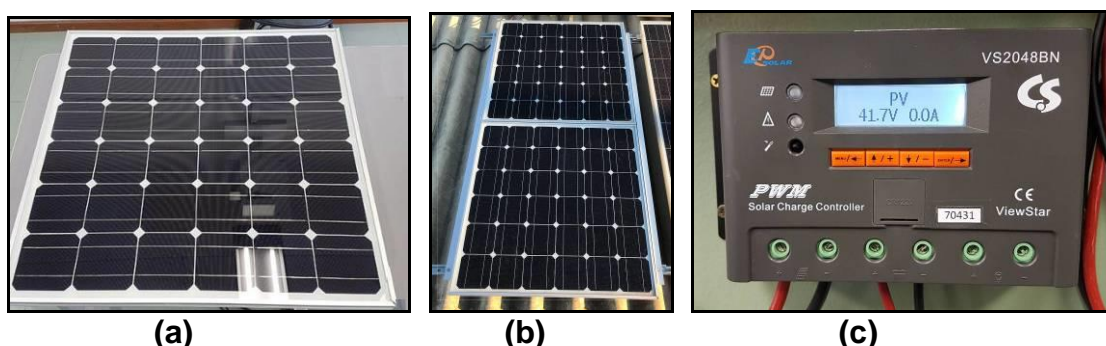
(a) (b)
Figura 15 – Tracker – (a) Rastreador Solar com 4 Módulos – (b) Controlador de Carga VS3048BN

As duas películas fotovoltaicas Flexíveis SM160M SolarModul com Potência de 60 Wp cada (figura 16-a), foram coladas a uma chapa de alumínio curvada de 2 mm com o objetivo de destacar as características flexível das mesmas, e estão instaladas no telhado do Prédio Verde (figura 16-b). O Controlador é um PWM VS2048BN ViewStar da Epsolar com capacidade de 20 A e tensão de saída de 12/24/48 V (figura 16-c) e está instalado na sala 309 do mesmo prédio.



**Figura 16 – Películas Flexíveis – (a) Modelo – (b) Colada na Chapa de Alumínio
– (c) Controlador de Carga VS2048BN**

A figura 17-a mostra o módulo com 36 células monocristalinas, a figura 17-b mostra estes módulos instalados no telhado do Prédio Verde. O Controlador é um PWM VS2048BN ViewStar da Epsolar (figura-c) e está instalado na sala 309 do mesmo prédio.



**Figura 17 – Módulos desenvolvidos – (a) Montado – (b) Instalado no telhado do
prédio Verde – (c) Controlador de Carga VS2048BN**

Para monitoramento da irradiação solar incidente, velocidade dos ventos, umidade e temperatura, foi desenvolvida uma mini estação meteorológica. O anemômetro utilizado foi o do tipo concha de referência RK100-02 da marca Hunan Rika Eletronic Technology Co (figura 18-a). O sensor Box ou Sensor de Irradiação utilizado foi um sensor a base de uma célula solar de Cristal de silício monocristalino de 50 x 33 mm (figura 18-b) fornecida pela empresa ENERPRO. Também foi utilizado o sensor DHT11 para captação de umidade e temperatura. A figura 18-c mostra a mini estação desenvolvida e a figura 18-d mostra e estação montada no telhado do prédio Verde. A monitoração é realizada na sala 309 do mesmo prédio, no qual foi construído um circuito para captação dos sinais gerados na mini estação via cabo (Painel de Controle), onde a partir de dois microcontroladores, os dados são tratados e gravados e mostrados a partir de um display. O microcontrolador do telhado é o ATtiny85, e o microcontrolador do painel na sala 309 é o Atmega328P-PU. A figura 19-a mostra a vista interna do circuito de aquisição dos dados da estação (Painel de Controle) e a figura 19-b mostra a vista externa, onde pode-se observar os dados mostrados no display.

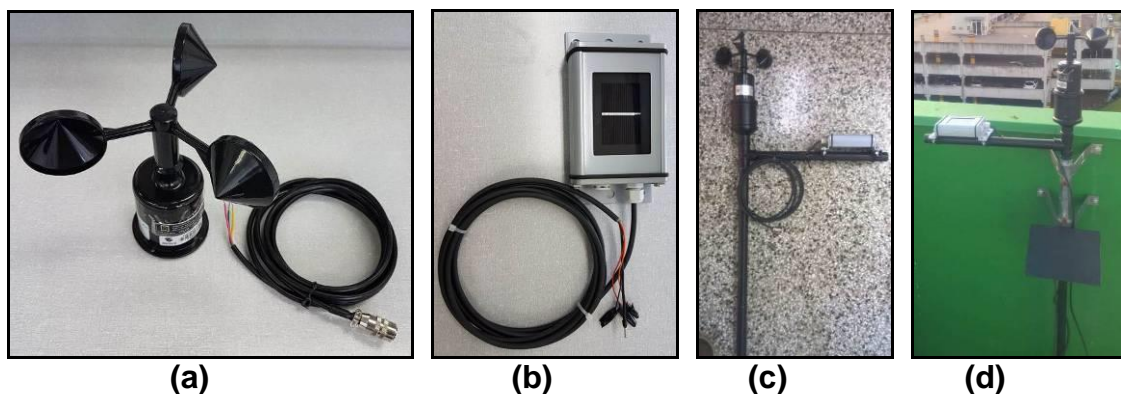


Figura 18 – Mini Estação Meteorológica – (a) Anemômetro – (b) Sensor de Irradiação – (c) Estação Montada – (d) Estação Instalada

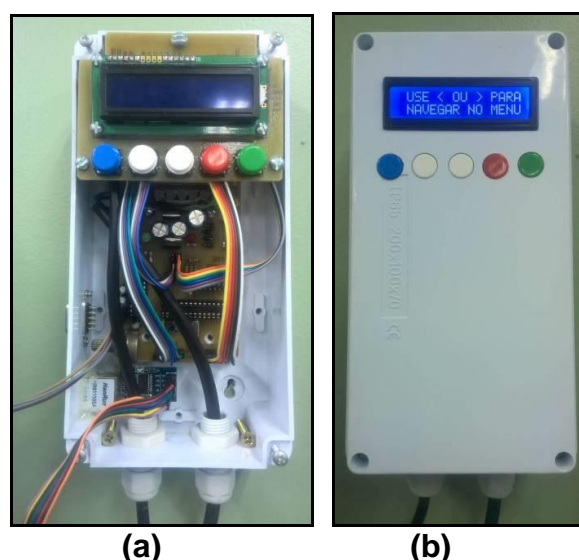


Figura 19 – Painel de Controle para Monitoramento da estação – (a) Vista Interna do Circuito Elétrico – (b) Vista Externa

As fontes de Energias Renováveis citadas (Solar, Eólica e Biomassa), geram através dos seus respectivos controladores de carga, níveis de tensão de 48 V, os quais compreendem 4 baterias de 12 V em série. Assim, para controle da carga das baterias, foi desenvolvido um painel, conforme esquema da figura 20-a, no qual cada entrada está especificada como F1, F2, ... , F10. Conforme diagrama esquemático da figura 20-b, basicamente o painel é constituído de contadoras, diodos de proteção, chaves liga / desliga, LED indicador e display mostrando tensão e corrente nas baterias (à esquerda na figura 20-a). Assim, quando se liga a chave identificada na entrada F1 o Aerogerador Horizontal de 1 kW é conectado as baterias, F2 conecta o Aerogerador Vertical, e assim por diante até F10 quando é conectado o gerador a Gás. A partir deste painel é possível monitorar cada fonte carregando as baterias separadamente e depois em conjunto.

- F1 – Aerogerador Horizontal 1 kW
- F2 – Aerogerador Vertical 1,5 kW
- F3 – Aerogerador Horizontal 2,5 kW
- F4 – Painel (10 Módulos de 250W cada)
- F5 – Painel (6 Módulos de 250W cada)

- F6 – Painel (6 Módulos de 250W cada)
- F7 – Tracker (Rastreador Solar)
- F8 – Películas Flexíveis
- F9 – Painel Desenvolvidos no Projeto (2 Módulos)
- F10 – Gerador a Combustão 6 kW

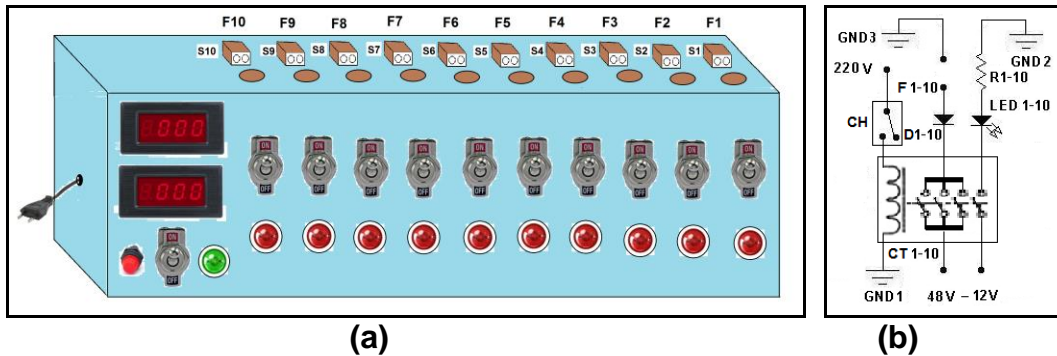
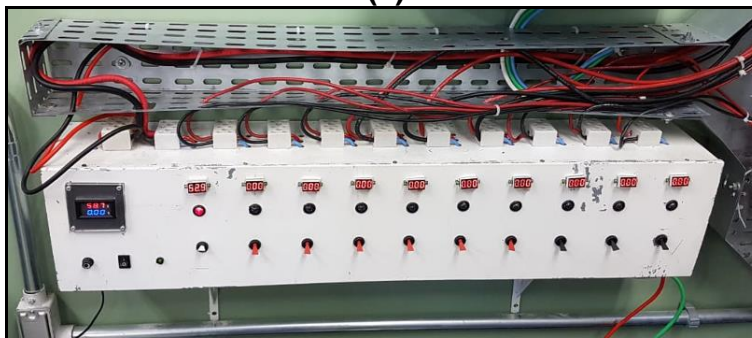


Figura 20 – Painel de Controle do Sistema Híbrido – (a) Desenho Esquemático – (b) Diagrama Elétrico básico

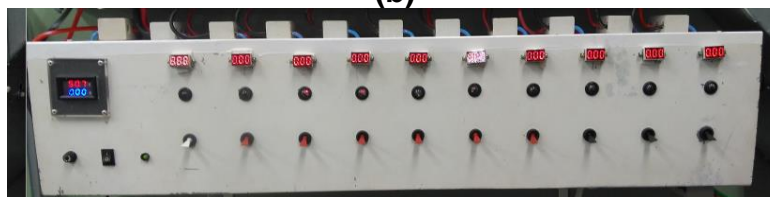
A figura 21-a mostra o painel em fase de montagem, a figura 21-b mostra o painel em fase de instalação, e a figura 21-c mostra o painel instalado em fase de testes. Observa-se nas figuras 21-b e 21-c que, além da descrição indicada na figura 21-a, foi adicionado dez mostradores na forma de display no qual pode-se observar as tensões geradas em cada fonte.



(a)



(b)



(c)

Figura 21 – Painel de Controle do Sistema Híbrido nas Diversas Fases – (a) Montagem – (b) Instalação – (c) Testes

A figura 22-a mostra as 4 baterias estacionárias Df4001 marca Freedom com carga de 240 A em C100, e a figura 22-b mostra o banco de baterias instalado.



(a)
(b)
Figura 22 – Baterias Estacionárias – (a) Df4001 marca Freedom 240 A – (b) Banco de Baterias Instalado

A saída do banco de baterias (figura 22) foi ligada a um inversor trifásico fabricado pela TECNOMASTER (figura 23-a), composto de três módulos de 2,5 kVA cada, totalizando uma potência total de 7,5 kVA. A figura 23-b mostra os três módulos instalados. O inversor trifásico é alimentado com 48 V e gera uma tensão alternada de 220 V com frequência de 60 Hz. Para os testes de carga, estes estão conectados a um banco de carga resistivo de 7,5 kW para tensão de 220 V fabricado por OHMIC (figura 24-a), com 9 resistências de potência máxima de 1kW cada (figura 24-b), o que totaliza, dependendo do tipo de ligação, em uma potência máxima de 9 kW, contudo este é um valor limite o qual somente pode ser atingido por curtos períodos de tempo, para tensões maiores que 220 V. Salienta-se que, para otimização da potência desta carga, foram realizadas modificações, no qual, os terminais das resistências foram colocadas externamente, em bornes, conforme mostra a figura 24-c. Desta maneira este banco de cargas serve para testes do Sistema Híbrido, mas também do Aerogerador e do Gerador a Gás, conforme será mostrado nos tópicos seguintes deste relatório. Assim, a partir deste banco de carga resistiva, é possível testar cargas de 1 kW até 9 kW.



(a)
(b)
Figura 23 – Inversor Trifásico – (a) Detalhe da Potência e Fabricante – (b) Instalado



(a) (b) (c)
Figura 24 – Banco de Cargas Resistivas – (a) Vista Externa – (b) Detalhe das Resistências Internas – (c) Com Borges para Conexões Externas

A monitoração das Potências de Saída de cada Módulo do Inversor Trifásico, é realizada por uma WebBox fabricada pela TECNOMASTER (figura 25-a). A figura 25-b mostra a WebBox montada em um gabinete e instalada na sala 309 do prédio verde, no qual pode-se observar que a mesma está conectada a um Computador e uma TV (figura 25-c). Nesta figura estão sendo realizados testes no qual foi conectada uma carga de 5 kW, a partir do Banco de Cargas Resistivas, com uma potência de 1,67 kW por fase. Esta condição é atingida alimentando-se com 220 V, 2 cargas resistivas em paralelo por fase.



(a)



(b)



(c)

Figura 25 – Monitoração de Carga nos Inversores – (a) WebBox – (b) WebBox Montada e Instalada – (c) Testes de Carga em 5 kW

A figura 26 mostra uma visão geral da sala de controle do Sistema Híbrido para geração de energia a partir de Fontes Renováveis (309 do prédio Verde), no qual se pode observar todos os equipamentos citadas nesta seção do relatório.



(a) (b)
Figura 26 – Vista geral da Sala de Controle do Sistema Híbrido – (a) Lado Esquerdo – (b) Lado Direito

3. RESULTADOS E CONCLUSÕES

O Sistema Híbrido desenvolvido neste trabalho, foi projetado para geração de 5 kW, em média, e estruturado a partir das seguintes fontes:

Energia Eólica:

- Aerogerador Horizontal de 2,5 kW
- Aerogerador Horizontal de 1 kW
- Aerogerador Vertical de 1,5 kW

O que totaliza 5 kW (5.000 W)

Energia Solar

- Painel de 5.500 W com 22 Módulos de 250 W cada
- Tracker de 600 W com 4 Módulos de 150 W cada
- Películas de 120 W com 2 Películas de 60 W cada
- Painel de 180 W com 2 Módulos de 90 W cada

O que totaliza 6.400 W

Energia a partir de Biogás

- Grupo Motor-Gerador de 6 kW (6.000 W)

Nesta condição a Potência Máxima desenvolvida pelo sistema resulta:

$$5.000 \text{ W} + 6.400 \text{ W} + 5.000 \text{ W} = \mathbf{16,4 \text{ kW} (16.400 \text{ W})}$$

Entretanto, deve-se considerar os estudos realizados, bem como Mapas Eólico e Irradiação Solar na região, uma vez que, nem sempre há ventos, e sol há somente de dia. Considerando todos estes fatores, resulta os seguintes valores

Energia Eólica – $5.000 \times 0,33 = 1.665 \text{ W}$ (Considerando um aproveitamento de 33,3%)

Energia Solar – $6.400 \times 0,17 = 1088 \text{ W}$ (Considerando um aproveitamento de 17%)

Energia a partir de Biogás – $6.000 \times 0,5 = 3.000 \text{ W}$ (Considerando que o Grupo Motor-Gerador tenha funcionamento adequado sem perda de velocidade de rotação até somente 3 kW)

Nesta condição a Potência desenvolvida pelo sistema resulta:

$$1.665 \text{ W} + 1.088 \text{ W} + 3.000 \text{ W} = 5.753 \text{ W}$$

O qual ultrapassa os 5.000 W previstos. Assim, o Gerador a Gás (ou Grupo Motor-Gerador) não necessita ficar ligado as 24 horas por dia. Portanto, fazendo-se os cálculos para os 5 kW propostos, o gerador a Biogás, em média, ficará ligado **18 horas por dia**.

Obviamente que, nos períodos de muito vento ou no verão em que os dias são maiores, o gerador a biogás ficará menos tempo ligado, ou talvez nem precise ser ligado, pois toda a energia será gerada, ou pelo sistema solar ou pelo sistema eólico.

Nos testes do sistema híbrido, o banco de carga resistiva (figura 24-c) foi ligado na saída do inversor trifásico (figura 23-b), A WebBox (figura 27-a) monitora a carga do inversor, a partir de um programa o qual mostra na tela do computador a potência entregue a carga, corrente e tensão elétricas (figura 27-b). Estes valores também são mostrados, ampliados, na tela da TV (figura 27-c). A figura 28 mostra a vista geral do sistema.

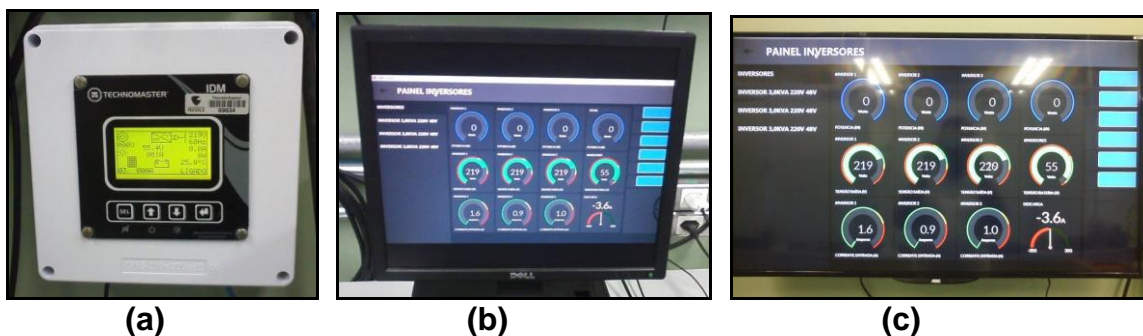


Figura 27 – Testes do Sistema Híbrido – (a) Detalhe da WebBox – (b) Detalhe da Tela do Computador – (c) Detalhe da Tela da TV



(a)

(b)

Figura 28 – Testes do Sistema Híbrido – (a) Vista Frontal – (b) Vista em Perspectiva

O primeiro teste foi realizado conectando-se o banco de carga resistiva para uma Potência Máxima de 2,5 kW em ligação estrela trifásico, no qual cada fase foi ligada a um dos inversores. A seguir, o banco de carga resistiva foi modificado para uma Potência Máxima de 5 kW. A figura 29-a mostra a tela da TV com os valores obtidos para a Potência, Tensão e Corrente Elétrica para a carga de 2,5 kW, e a figura 29-b mostra a tela da TV para a carga de 5 kW.



(a)



(b)

Figura 29 – Dados de Potência, Tensão e Corrente Elétricas mostrados na Tela da TV para – (a) Carga de 2,5 kW – (b) Carga de 5 kW

Para uma carga de 2,5 kW, a partir da tela da TV (figura 29-a) é possível observar:

Inversor A

- Potência: 813 W
- Tensão: 219 V
- Corrente: 18,6 A

Inversor B

- Potência: 837 W
- Tensão: 220 V
- Corrente: 18,5 A

Inversor C

- Potência: 814 W
- Tensão: 220 V
- Corrente: 16,4 A

Somando cada fase

Corrente Total: $18,6 + 18,5 + 16,4 = 53,8$ A

Potência Total: $813 + 837 + 814 = 2.463$ W

Para uma carga de 5 kW, a partir da tela da TV (figura 29-b) é possível observar:

Inversor A

- Potência: 1.597 W
- Tensão: 218 V
- Corrente: 39,1 A

Inversor B

- Potência: 1.624 W
- Tensão: 219 V
- Corrente: 38,8 A

Inversor C

- Potência: 1.583 W
- Tensão: 219 V
- Corrente: 35,5 A

Somando cada fase

Corrente Total: $39,1 + 38,8 + 35,5 = 113,9$ A

Potência Total: $1.597 + 1.624 + 1.583 = 4.807$ W

Observa-se que para os testes com o banco de cargas resistivas de 2,5 kW, a potência gerada pelo sistema resultou em 2.463 W e para o banco de cargas resistivas de 5 kW, a potência gerada pelo sistema resultou em 4.807 W, ou seja, em ambos os casos, valores levemente inferiores. Isto se deve ao fato de que, o banco de cargas resistivas, por questões de segurança e devido a tolerância, dissipa um valor levemente inferior aquele indicado nas cargas. Assim, para totalizar e ultrapassar os 5 kW, bastou acrescentar três lâmpadas de 100 W.

Desta maneira, tanto no estudo teórico quando nos testes práticos, comprova-se que o sistema híbrido é capaz de gerar 5 kW.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradem a Secretaria do Desenvolvimento Econômico, Ciência e Tecnologia do Estado do RS pelo financiamento deste projeto, e ao apoio do CNPq, Capes, FINEP e FAPERGS.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. <http://energiahibrida.blogspot.com.br/> - Acessado em 04/2017
- [2]. <http://www.movitrom.pt/areasolar/produtos/aerogeradores.html> - Acessado em 04/2017
- [3]. <http://termometroglobalcom.blogspot.com.br/2010/07/aerogeradores-verticais-vawt-alguns.html> - Acessado em 04/2017
- [4] <http://www.cresesb.cepel.br/content.php?cid=201> - Acessado em 04/2017
- [5]. RIO DE JANEIRO. João Tavares Pinho. Cepel – Cresesb (Org.). **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, 2014. 530 p.
- [6]. <http://www.solarpowerworldonline.com/2013/04/how-does-a-solar-tracker-work/> - Acessado em 04/2017
- [7]. <http://energiadeactivacion.blogspot.com.br/2015/05/optimizar-perdidas-en-parque-solares.html> - Acessado em 04/2017
- [8]. <http://www.stemac.com.br/pt/produtos/Pages/grupos-geradores-gas-natural.aspx> - Acessado em 04/2017

FILMES BIODEGRADÁVEIS A BASE DE PROTEÍNA DE SOJA: EFEITO DAS CONDIÇÕES DE PROCESSAMENTO

Cofferi, P.¹

Tessaro de Moraes, C.²

Monticelli, B.³

Santana, R.M.C.⁴

¹ Mestranda, Patrícia Cofferi, UFRGS, pcofferi@gmail.com.

² Mestranda, Charon Tessaro de Moraes, UFRGS, charon.tessaro@gmail.com.

³ Graduanda, Bruna Monticelli, UFRGS, bruna.monticelli@yahoo.com

⁴ Prof. Dr^a, Ruth Marlene Campomanes Santana, UFRGS, ruth.santana@ufrgs.br.

Resumo

Biopolímeros derivados de recursos naturais tem atraído grande atenção nos últimos anos, sendo considerados potenciais substitutos aos materiais poliméricos sintéticos, devido ao seu baixo custo, grande disponibilidade, por serem recursos renováveis e pela sua biodegradabilidade. A proteína de soja isolada (PSI), sendo resíduo da indústria de óleos vegetais, tem sido considerada uma importante alternativa no âmbito dos biofilmes, pois estes geralmente são mais flexíveis e possuem melhores propriedades de barreira a gases se comparados aos preparados a partir de outros biopolímeros. No entanto, para que se alcance boas propriedades mecânicas a proteína deve ser plastificada e as condições em que este processo é realizado influenciam diretamente nas propriedades do filme obtido. Desta forma, neste trabalho buscou-se estudar o efeito das condições de processamento na produção de filmes a base de PSI, estudando as propriedades mecânicas, de absorção de umidade e ângulo de contato. Para isto, foram produzidos filmes por *casting* com uma solução contendo os seguintes percentuais em massa, 92,5% de água, 6% de PSI e 1,5% de glicerol e trabalhou-se com temperaturas de 40 e 70°C e tempos de mistura de 40, 60 e 90 minutos. Verificou-se que um aumento tanto no tempo de mistura quanto na temperatura possibilitou uma melhor homogeneização da amostra, sendo que esta diferença é percebida em menor escala na mudança de 60 para 90 minutos de mistura. Esta maior homogeneização possibilitou melhora nas propriedades mecânicas, aumento do brilho, aumento do ângulo de contato e redução na absorção de umidade dos filmes.

Palavras-chave: Proteína de soja isolada, biopolímeros, embalagens, processamento.

BIODEGRADABLE FILMS BASED ON SOY PROTEIN: EFFECT OF PROCESSING CONDITIONS

Abstract

Biopolymers derived from natural resources have attracted great attention in the last years, being considered potential substitutes for the synthetic polymeric materials, due to their low cost, great availability, being renewable resources and their biodegradability. Soy protein Isolate (SPI), being the residue of the vegetable oil industry, has been considered an important alternative in the field of biofilms, since

they are generally more flexible and have better gas barrier properties compared to those prepared from other biopolymers. However, in order to achieve good mechanical properties the protein must be plasticized and the conditions under which this process is carried out directly influence the properties of the obtained film. In this work, we studied the effect of processing conditions on the production of films based on SPI, studying the mechanical properties, moisture absorption, contact angle and brightness. For this, casting films were produced with a solution containing the following percentages by mass, 92.5% water, 6% PSI and 1.5% glycerol and process temperatures of 40 and 70 °C and mixing times of 40, 60 and 90 minutes. It was found that an increase in both the mixing time and temperature allowed a better homogenization of the sample and this difference is perceived on a smaller scale in the change from 60 to 90 minutes of mixing. This higher homogenization allowed improving the mechanical properties, increasing the brightness, increasing the contact angle and reducing the moisture absorption of the films.

Key words: Soy protein isolate, biopolymers, packings, processing.

1 INTRODUÇÃO

Embalagens são necessárias para preservar as características organolépticas, nutricionais e de higiene dos alimentos durante o armazenamento e comercialização. As embalagens de plásticos derivados do petróleo são amplamente utilizadas nos dias atuais, no entanto, estas não são biodegradáveis, e apresentam dificuldades de reciclagem em larga escala devido à falta de separação e coleta destes, o que leva a graves problemas ecológicos.⁽¹⁾⁽²⁾ Geyer et al (2017) informaram que em 2015 cerca de 6,3 milhões de toneladas de resíduos plásticos foram gerados e que cerca de 79% destes foi disposto no meio ambiente.⁽³⁾ Eriksen et al. (2014) reportaram que cerca de 5,25 trilhões de partículas, pesando cerca de 270.000 toneladas, foram encontradas no oceano em 2013, o que torna a poluição dos oceanos com microplásticos um dos principais problemas ambientais da atualidade.⁽⁴⁾⁽⁵⁾

Desta forma, embora os esforços da comunidade científica se voltem para o aumento do ciclo de vida útil dos produtos plásticos e para a conscientização quanto à reciclagem, no âmbito das embalagens flexíveis se fazem ainda necessárias soluções alternativas, visto que há grande dificuldade de coleta e desconhecimento da população quanto à disposição destas. Uma alternativa que está tendo grande visibilidade nos últimos anos são os biopolímeros derivados de recursos naturais, sendo considerados potenciais substitutos aos materiais poliméricos sintéticos à base de petróleo, devido ao seu baixo custo de produção, grande disponibilidade e por serem recursos renováveis e biodegradáveis.⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾

Entre os biopolímeros, os polissacarídeos são constituídos por poucos ou mesmo apenas um monômero, enquanto as proteínas são baseadas em vários aminoácidos.⁽⁸⁾ As estruturas secundárias, terciárias e quaternárias das proteínas resultam em várias interações e ligações em diferentes posições, tipo e energia o que possibilita melhores propriedades mecânicas de filmes baseados em proteínas do que os oriundo de polissacarídeos ou a base de gordura.⁽⁸⁾

A proteína de soja é uma representante importante das proteínas vegetais, sendo que, no Brasil, a soja é a maior cultura em grãos segundo dados do IBGE de 2017 (IBGE, 2017).⁽¹⁰⁾ Esta está comercialmente disponível em três formas: farinha

de soja (FS, 54% de proteína), concentrado de proteína de soja (CPS, 65-72% de proteína) e proteína isolada de soja (PSI, $\geq 90\%$ de proteína). ⁽¹¹⁾ Devido ao seu alto teor de proteína o SPI possui melhor habilidade de formação de filmes. ⁽⁸⁾

A proteína de soja isolada (PSI) é uma mistura complexa de proteínas com propriedades moleculares muito distintas. As principais proteínas componentes desta possuem massas moleculares variando de 200 a 600 kDa. Cerca de 90% da soja são globulinas, que podem ser fracionadas em 2S, 7S, 11S e 15S de acordo com os seus coeficientes de sedimentação. A glicinina (7S) e a β -conglucina (11S) são as duas principais frações da proteína de soja sendo seus teores de cerca de 37% e 31% do total extraível, respectivamente. Estas são as frações da proteína que possuem capacidade de polimerização, sendo compostas pela união de duas ou mais subunidades, as quais são formadas por pequenas cadeias polipeptídicas. As globulinas 7S são glico-proteínas triméricas compostas de seis diferentes combinações de três subunidades associadas via interações hidrofóbicas. Já as globulinas 11S são constituídas por dois anéis hexagonais sobrepostos, cada um contendo três pares dissulfeto hidrofobicamente associados e ligados a subunidades ácidas e básicas. ⁽¹²⁾⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾

A formação de filmes de proteínas de soja tem sido descrita como um processo de duas etapas envolvendo a desnaturação térmica das proteínas seguida pela desidratação superficial. Após a secagem, as proteínas desdobradas se ligam através de interações intermoleculares, tais como ligações dissulfureto e interações hidrofóbicas, levando à formação de uma rede. ⁽¹²⁾⁽¹³⁾

A proteína de soja consiste em cadeias laterais polares e apolares possuindo interações intra e inter-moleculares fortes, como ligações de hidrogênio, dipolo-dipolo, eletrostáticas e hidrofóbicas. A forte carga e interações polares entre as cadeias laterais das moléculas da proteína restringem a rotação do segmento e a mobilidade molecular, isto leva a um aumento da rigidez, do limite de escoamento e da resistência à tração originando plásticos de proteína de soja frágeis. O plastificante reduz a interação entre moléculas de proteína e aumenta a flexibilidade, extensibilidade e processabilidade de plásticos de proteína de soja. ⁽²⁾

Desta forma, a adição de um plastificante para a obtenção de um filme com boas propriedades é essencial. Plastificantes são moléculas pequenas de baixa volatilidade que, quando adicionadas a materiais poliméricos, modificam a organização tridimensional, diminui forças intermoleculares de atração e aumentando o volume livre e a mobilidade das cadeias. ⁽¹²⁾ Como resultado dessa reorganização, os plastificantes modificam as propriedades dos filmes aumentando a extensibilidade, dispensabilidade e flexibilidade e diminuindo a coesão, elasticidade e rigidez.

Plastificantes com menor massa molecular são mais facilmente incorporados na matriz proteica e exibem assim melhor efeito plastificante como é o caso do glicerol. ⁽⁶⁾⁽¹⁵⁾ O glicerol (1,2,3-propanotriol) é um composto orgânico pertencente a função álcool, líquido a temperatura ambiente (25 °C), incolor, inodoro e viscoso. ⁽¹⁶⁾

A matriz do filme de PSI é formada por interações proteína-proteína catalizada pelo calor, onde as principais forças envolvidas nessas interações são ligações de dissulfeto, de hidrogênio e ligações hidrofóbicas. Assim, o aquecimento é essencial para a formação destas ligações, uma vez que altera a estrutura tridimensional das proteínas e leva a exposição dos grupos sulfídricos e as cadeias laterais hidrofóbicas. Após a secagem, as cadeias de proteínas desnaturadas se

aproximam uma das outras e se ligam por pontes de dissulfetos e interações hidrofóbicas. ⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾

Tendo em vista que a temperatura e o tempo de mistura da solução formadora de filme são condições de processamento importantes na produção de filmes de proteína por *casting* é importante avaliar a influencia destas nas propriedades deste. Assim, neste trabalho buscou-se avaliar os efeitos das condições de processamento, estudando-se duas temperaturas e três tempos de mistura distintos, nas propriedades mecânicas, de brilho e de interação com a água como ângulo de contato e absorção de umidade.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

A proteína de soja isolada usada em este estudo (teor de proteína entre 88-92%, Bremil S.A., Brasil) foi disponibilizada pela empresa Bremil S.A., o plastificante utilizado foi o Glicerol (PM: 92,10, Dinâmica, Brasil).

2.2 Preparo dos filmes

Os filmes de proteína de soja isolada foram produzidos pelo método de *casting*. A solução formadora do filme foi preparada dissolvendo-se 6% de PSI e 1,5% de glicerol em água destilada sob agitação magnética e em pH 9 obtido com a utilização de uma solução 1M de NaOH. Foram avaliadas as temperaturas de 40° e 70°C e os tempos de mistura de 40, 60 e 90 minutos de agitação. Após o preparo das soluções estas foram despejadas em placas de poliestireno e mantidas em estufa a 60°C por 2h.

2.3 Ensaios mecânicos

As propriedades mecânicas de alongamento na ruptura, módulo de Young e tensão na ruptura dos filmes foram determinadas por meio do ensaio de tensão sob tração de acordo com a ASTM D882-2012. Para cada filme, no mínimo cinco corpos de prova retangulares de 80 x 25 mm foram armazenados em dessecador por pelo menos 48 h. Os corpos de prova foram então ensaiados em um equipamento de testes universais (INSTRON, Modelo 3367, EUA) sendo submetidos a uma separação inicial de 20 mm e taxa de separação de 10 mm.min⁻¹ com célula de carga com capacidade de 50 N. Os ensaios foram realizados no Instituto Federal Sul-rio-grandense.

2.3 Brilho

O brilho foi medido com o equipamento Spectro Guide Sphere Gloss N6834 da marca BYK- Gardner conforme a norma ASTM D2244.

2.4 Absorção de umidade

Os resultados de absorção de umidade foram obtidos de acordo com a Norma ASTM D 570, onde as amostras de 3x2 cm foram previamente pesadas, mantidas

em estufa a 60°C por 24h, resfriadas em dessecador e novamente pesadas para obter a variação de umidade da amostra.

2.5 Ângulo de contato

As medidas de ângulo de contato foram obtidas através do método da gota sésil utilizando-se água destilada para a formação da gota sobre o filme colocado sobre uma superfície horizontal, a imagens obtidas da gota foram tratadas no Software SurfTens.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figuras 1a e 1b são apresentados os resultados das propriedades mecânicas obtidas no ensaio de tração. As propriedades mecânicas permitem avaliar a capacidade da embalagem em manter sua integridade durante a estocagem e assim proteger o alimento embalado. ⁽¹⁸⁾ Elongação (%) e a tensão na ruptura (MPa) são as principais propriedades mecânicas utilizadas para mensurar as propriedades mecânicas dos filmes biodegradáveis. ⁽¹⁹⁾

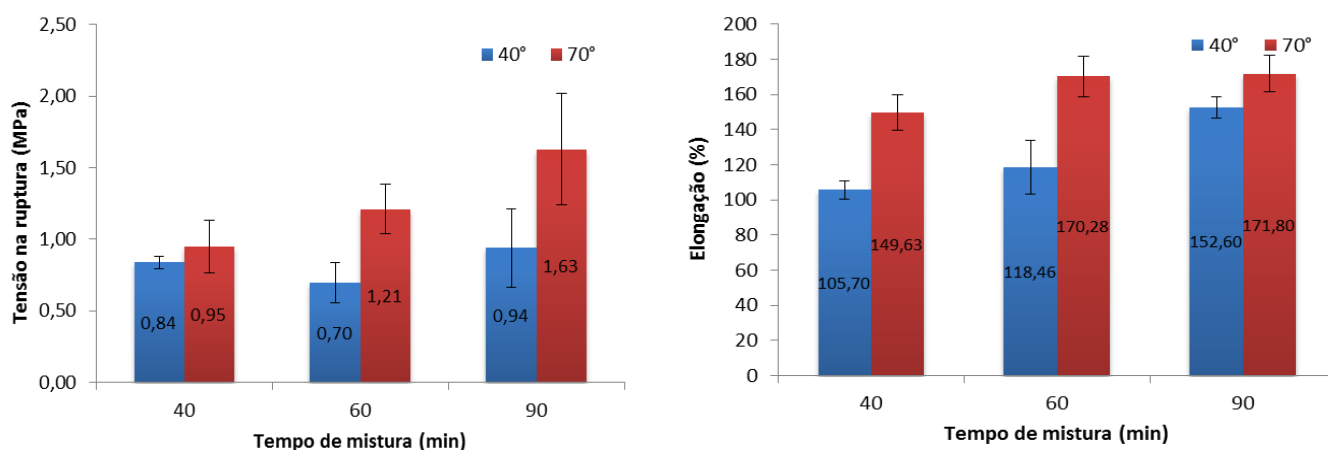


Figura 1. a) Variação da tensão de ruptura com o tempo de mistura e com a temperatura. **b)** Variação da Elongação com as condições de processamento avaliadas.

Verifica-se que o aumento da temperatura de processamento ocasionou um aumento tanto na tensão de ruptura quanto da elongação do material. Como comentado anteriormente, altas temperaturas facilitam o processo de quebra da estrutura tridimensional das proteínas, facilitando o processo de desnaturação desta. ⁽¹⁵⁾ O aumento do tempo de mistura também proporcionou aumento de ambas as propriedades, isto se deve a maior homogeneização da solução, o que melhora o processo de desnaturação e proporciona um aumento da interação das cadeias da proteína com o plastificante, o que tem grande influencia na elongação e na resistência a tração dos filmes. ⁽¹²⁾

Na Figura 2 são apresentados os resultados obtidos no ensaio de absorção de umidade. A absorção de umidade é uma propriedade muito importante quando se trata da filmes para o setor de embalagens, visto que uma baixa absorção é desejada para garantir a maior durabilidade dos alimentos. ⁽¹²⁾⁽²⁰⁾

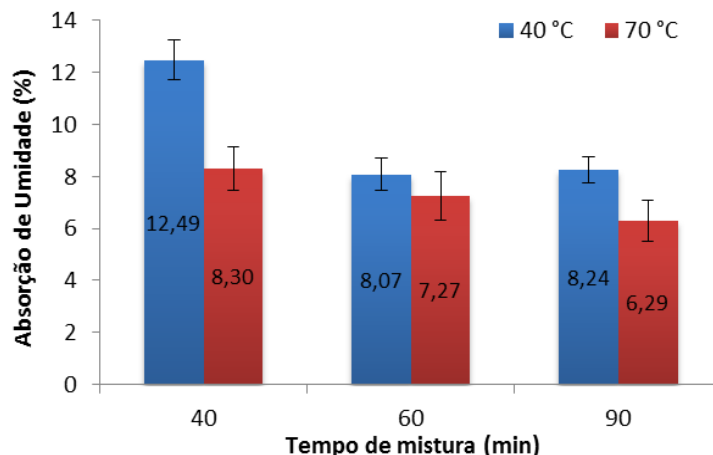


Figura 2. Resultados do ensaio de absorção de umidade.

Pode-se verificar que tanto o aumento da temperatura quanto o aumento do tempo de mistura provocam uma redução da umidade absorvida pelas amostras. Isto ocorre devido à uma melhora no processo de desnaturação ocasionada com o aumento da temperatura e da ação mecânica sobre as partículas. Esta possibilita a formação de filmes com menor porosidade o que reduz a interação da água com o material. ⁽¹⁵⁾

Na Figura 3 pode-se avaliar a influencia das condições de processamento estudadas no brilho das amostras. O brilho é uma propriedade muito importante para filmes voltados para o mercado de embalagens, visto que este possibilita a obtenção de embalagens mais bonitas e atrativas para chamar a atenção dos consumidores. ⁽²⁰⁾

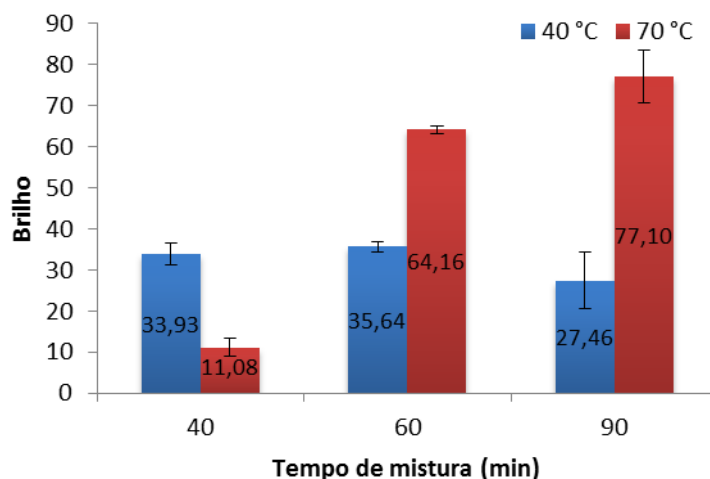


Figura 3. Influência das condições de processamento na opacidade dos filmes.

Pode-se verificar que a 70°C o aumento do tempo de mistura proporcionou um aumento no brilho, sendo que este foi mais significativo entre os tempos de 40 e 60 minutos. Já para a temperatura de 40°C a variação de brilho foi pouco significativa, sendo que o valor mais baixo para a amostra com 90 minutos de mistura pode ser atribuída ao erro experimental.

Na Figura 4 avalia-se a influência da temperatura e do tempo de mistura no ângulo de contato. A hidrofobicidade superficial tem sido utilizada como importante

indicativo da transferência de umidade em filmes proteicos, esta pode ser avaliada pelo ângulo de contato entre a superfície do filme e uma gota de água. Geralmente, os filmes proteicos com maiores valores de ângulo de contato possuem maior hidrofobicidade superficial, tendo assim um maior potencial para superar a limitação da propriedade higroscópica. ⁽¹²⁾ ⁽²¹⁾

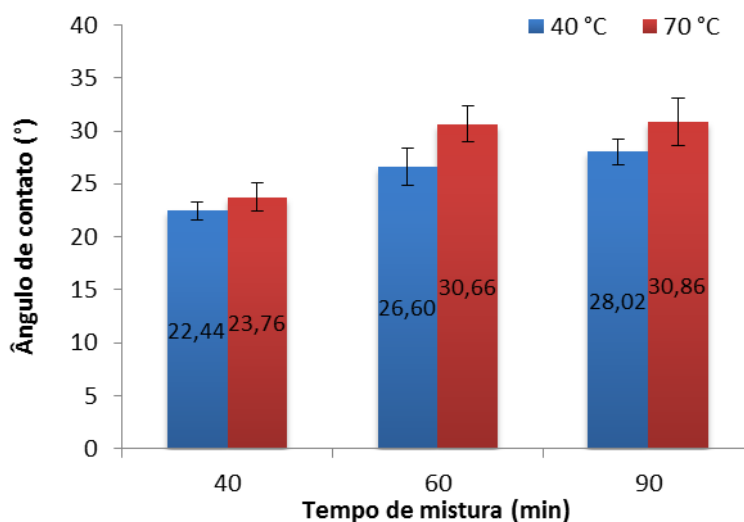


Figura 4. Resultados do ensaio de ângulo de contato

Verifica-se que, um aumento no tempo de mistura provocou um aumento no ângulo de contato, devido a maior homogeneização das amostras e conseqüente menor porosidade obtida nestas. Segundo LUZ et al (2010) os principais fatores que podem afetar o comportamento de molhabilidade de um sólido por um líquido são a rugosidade e heterogeneidade da superfície do substrato além das reações entre líquido e o sólido. ⁽²²⁾ O aumento de temperatura também proporcionou um aumento do ângulo de contato, provavelmente pela melhora no processo de desnaturação. Este resultado condiz com o obtido no ensaio de absorção de umidade, pois os filmes produzidos em menor temperatura e menor tempo de mistura apresentaram maior absorção de umidade e, logo, apresentam maior afinidade com a água que os demais.

4 CONCLUSÃO

A produção de embalagens biodegradáveis é um assunto de grande interesse atual, e dentre estas, as embalagens produzidas com proteína de soja apresentam um campo de trabalho interessante devido as suas boas propriedades de barreira a gases e a grande disponibilidade de matéria-prima, além de esta ser de fonte renovável e biodegradável. Desta forma, o estudo de técnicas e condições de processamento para obtenção de filmes com melhores propriedades é de grande importância. Sendo assim, este estudo buscou avaliar o efeito da temperatura e do tempo de mistura de soluções formadoras de filme pelo método de *casting*. Verificou-se que a temperatura possui importância significativa nas propriedades dos filmes devido à necessidade de desnaturação das cadeias da proteína. O tempo de processamento também apresentou influencia sobre as propriedades sendo que o aumento deste provoca melhora nas propriedades mecânicas, de absorção de

umidade, ângulo de contato e brilho devido a maior homogeneização da solução formadora do filme e conseqüente melhor plastificação das cadeias da proteína.

Agradecimentos

Ao CNPQ pelo apoio financeiro a pesquisa, á CAPES pelo auxílio na aquisição de equipamentos, ao Lapol pelo espaço cedido, ao IFSul pela colaboração nos ensaios mecânicos e a empresa Bremil S.A. pela doação da proteína de soja utilizada.

REFERÊNCIAS

- 1 GONZÁLEZ, A.; ALVAREZ IGARZABAL, C. I. Soy protein - Poly (lactic acid) bilayer films as biodegradable material for active food packaging. **Food Hydrocolloids**, 2013.
- 2 WU, Q.; ZHANG, L. Properties and Structure of Soy Protein Isolate - Ethylene Glycol Sheets Obtained by Compression Molding. p. 1879–1883, 2001.
- 3 GEYER, R.; JAMBECK, J. R.; LAW, K. L. Production, uses, and fate of all plastics ever made. **Science Advances**, v. 3, n. 7, p. 5, 2017.
- 4 ERIKSEN, M. et al. Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. **PLoS ONE**, v. 9, n. 12, p. 1–15, 2014.
- 5 PICCHIO, M. L. et al. Casein films crosslinked by tannic acid for food packaging applications. **Food Hydrocolloids**, 2018.
- 6 BOŽIČ, M. et al. Mechanical and barrier properties of soy protein isolate films plasticized with a mixture of glycerol and dendritic polyglycerol. **Journal of Applied Polymer Science**, 2015.
- 7 RHIM, J. et al. Preparation and Properties of Biodegradable Multilayer Films Based on Soy Protein Isolate and Poly (lactide). p. 3059–3066, 2006.
- 8 SONG, F. et al. **Biodegradable soy protein isolate-based materials: A review****Biomacromolecules**, 2011.
- 9 TIAN, H. et al. International Journal of Biological Macromolecules Fabrication , properties and applications of soy-protein-based materials: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 120, p. 475–490, 2018.
- 10 Levantamento Sistemático da Produção Agrícola - LSPA, Agosto 2018. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-pecuaria/9201-levantamento-sistemico-da-producao-agricola.html?=&t=destaques>> Acesso em: 14/10/2018
- 11 LI, Y.-D. et al. Structure and properties of soy protein/poly (butylene succinate) blends with improved compatibility. **Biomacromolecules**, v. 9, n. 11, p. 3157–3164, 2008.
- 12 KOKOSZKA, S. et al. Protein and glycerol contents affect physico-chemical

- properties of soy protein isolate-based edible films. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 11, n. 3, p. 503–510, 2010.
- 13 SEUNG, Y. C.; RHEE, C. Mechanical properties and water vapor permeability of edible films made from fractionated soy proteins with ultrafiltration. **LWT - Food Science and Technology**, v. 37, n. 8, p. 833–839, 2004.
 - 14 UTSUMI, S.; KINSELLA, J. E. Structure-Function Relationships in Food Proteins: Subunit Interactions in Heat-Induced Gelation of 7S, 11S, and Soy Isolate Proteins. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 33, n. 2, p. 297–303, 1985.
 - 15 WU, Q.; ZHANG, L. Properties and Structure of Soy Protein Isolate - Ethylene Glycol Sheets Obtained by Compression Molding. p. 1879–1883, 2001.
 - 16 CARPINÉ, D. et al. Development and Characterization of Soy Protein Isolate Emulsion-Based Edible Films with Added Coconut Oil for Olive Oil Packaging: Barrier, Mechanical, and Thermal Properties. **Food and Bioprocess Technology**, v. 8, n. 8, p. 1811–1823, 2015.
 - 17 Encyclopedia Britannica. <<https://www.britannica.com/science/glycerol>> . Acesso em: 14/10/2018
 - 18 BUFFO, R. A.; HAN, J. H. Edible films and coatings from plant origin proteins. **Innovations in Food Packaging**, p. 277–300, 2005.
 - 19 ECOLE, S. G.; SUP, N. Prolongation of the Shelf-life of Perishable Food Products using Biodegradable Films and Coatings. *St ephane*. v. 17, p. 10–17, 1996.
 - 20 GONTARD, N. et al. Edible Composite Films of Wheat Gluten and Lipids - Water-Vapor Permeability and Other Physical-Properties. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 29, n. 1, p. 39–50, 1994.
 - 21 MAJID, I.; THAKUR, M.; NANDA, V. Biodegradable Packaging Materials. In: **Reference Module in Materials Science and Materials Engineering**. [s.l.: s.n.].
 - 22 TANG, C. H.; JIANG, Y. Modulation of mechanical and surface hydrophobic properties of food protein films by transglutaminase treatment. **Food Research International**, v. 40, n. 4, p. 504–509, 2007
 - 23 LUZ, A. P.; RIBEIRO, S.; PANDOLFELLI, V. C. Uso da molhabilidade na investigação do comportamento de corrosão de materiais refratários. **Cerâmica**, v. 54, n. 330, p. 174–183, 2008.

Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos e Compostagem

Piovezan, A. A.¹
Hijazin, C. A. H.²
Goudinho, F. S.³
Tubino, R. M. C.⁴

- ¹ Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais-PPGE3M, Andressa Aparecida Piovezan, Universidade Federal do Rio Grande do Sul e andressapiovezan@hotmail.com.
- ² Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais-PPGE3M, Carlos A. H. Hijazin, Universidade Federal do Rio Grande do Sul e carloshijazin@hotmail.com.
- ³ Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais-PPGE3M, Flávio Soares Goudinho, Universidade Federal do Rio Grande do Sul e flavio.goudinho@gmail.com.
- ⁴ Prof. Dra. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais-PPGE3M/UFRGS e rejane.tubino@ufrgs.br.

Resumo

O correto manejo dos resíduos sólidos urbanos (RSU) é um dos principais desafios em gestão ambiental no mundo. A compostagem da fração orgânica compostável destes resíduos, figura entre uma das alternativas mais viáveis em termos econômicos e sociais para contornar este problema. Este trabalho objetivou, através da realização de uma revisão bibliográfica, fornecer uma visão geral sobre os diferentes tipos de RSU, bem como apresentar os parâmetros ótimos, físico-químicos e microbiológicos que influenciam no processo de obtenção de um composto que seja rico em nutrientes para o solo, conhecido como húmus. Outro ponto relevante a ser considerado neste trabalho é a sua importância como referência a projetos e pesquisas que sejam direcionadas para esta área de estudo.

Palavras-chave: resíduos sólidos urbanos, compostagem, controle de processo da compostagem.

Urban Solid Waste Management and Composting

Abstract

The correct management of urban solid waste (USW) is one of the main challenges in environmental management in the world. The composting of the compostable organic fraction of these wastes is one of the most economically and socially viable alternatives to overcome this problem. The objective of this work was to provide an overview of the different types of USW, as well to present the optimal physical-chemical and microbiological parameters that influence the process of obtaining a nutrient-rich compound for the soil, known as humus. Another relevant point to be considered in this work is its importance as a reference to projects and research that are directed to this area of study.

Key words: urban solid waste, composting, composting process control.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) cresceu 4,1% entre 2012 e 2013, enquanto que a taxa de crescimento populacional urbano foi de 3,7% no mesmo período (ABRELPE, 2013). A maior porcentagem (50%) dos RSU gerados nas cidades brasileiras é constituída por resíduos orgânicos (CUNHA *et al.*, 2017); apesar deste elevado percentual somente 3,9% seguiram para unidades de triagem e de compostagem (BRASIL, 2010).

Quando dispostos em aterros, sem a correta segregação, estes resíduos causam elevados impactos ambientais, como o aumento da emissão de gases do efeito estufa e a redução do tempo de vida útil dos aterros, gerando impactos e despesas que poderiam ser evitadas. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, Lei 12.305/2010) estipulou o envio obrigatório dos resíduos sólidos para reciclagem e compostagem (BRASIL, 2010).

2 MÉTODO DE PESQUISA

Este artigo baseia-se na identificação de experiências envolvendo a gestão e a compostagem de RSU através de pesquisas realizadas em livros, internet, artigos científicos, dissertações, teses e eventos relacionados à área, para isso o método adotado foi o de revisão sistemática da literatura, que é considerado um novo delineamento de pesquisa, o delineamento adotado para o presente estudo foi o de revisão integrativa, onde além de usar conceitos de diversos autores sobre o tema, o próprio autor do artigo expõe sua opinião. O número de artigos e trabalhos, além de legislações e normas municipais, estaduais e nacionais aplicadas à gestão e compostagem de RSU somou um total de 23, que constam nas Referências.

3 GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E COMPOSTAGEM

Nos últimos anos, tem ocorrido uma atenção cada vez maior nos países quanto à melhoria do manejo da fração orgânica compostável dos RSU. Esta necessidade surge para atender a legislações vigentes, como resposta ao grande volume de matéria orgânica compostável que é destinada a aterros sanitários.

3.1 CLASSIFICAÇÃO QUANTO À ORIGEM E GESTÃO DOS RSU

Os RSU são compostos por resíduos domiciliares (RDO) e Resíduos Sólidos Públicos (RPU), onde os RPU são diferenciados por serem resíduos gerados na limpeza de praças, poda e varrição, resíduos de descartes irregulares, resíduos da construção civil (RCC) de pequenos geradores e outros resíduos volumosos, como mobiliários descartados, com exceção de resíduos industriais e resíduos de serviços de saúde (Plano de Gestão Integrada de Resíduos (PMGIRS), 2017).

De acordo com Almeida (2013), os RDO são aqueles originados nas atividades diárias das residências, constituído por restos de alimentos, produtos deteriorados, jornais e revistas, garrafas, embalagens em geral, papel higiênico, fraldas descartáveis e uma grande diversidade de outros itens. Contém, ainda, alguns resíduos que podem ser tóxicos, como pilhas e baterias, lâmpadas fluorescentes, remédios vencidos, etc.

Os RSU, assim como qualquer outro tipo de resíduos classificados quanto à origem, devem considerar a gestão como sendo um conjunto de ações voltadas para a busca de soluções, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, sob a premissa do desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2010).

A Gestão dos RSU faz-se necessária frente ao aumento da geração de resíduos sólidos a nível mundial, constituindo-se hoje um desafiante tema na agenda das políticas públicas ambientais. Para Lim *et al.*, (2016), o aumento anual da geração de resíduos sólidos no planeta está ligado ao rápido crescimento da população e ao aumento da taxa de urbanização à nível mundial.

Um dos maiores desafios da atual gestão de RSU no Brasil é o de eliminar a disposição final inadequada destes resíduos para que sejam evitados impactos ambientais e à saúde pública. Há ainda os impactos sociais negativos, como coleta de materiais recicláveis feita em condições insalubres pelos catadores nas ruas, nos galpões de triagem e/ou nas áreas de disposição final inadequadas, como lixões (KLEIN, DIAS E JAI, 2018).

3.2 RESÍDUOS COMPOSTÁVEIS DOS RSU

Para que os RSU possam ser compostados, eles devem ser segregados na origem em no mínimo três frações: resíduos recicláveis, resíduos orgânicos e rejeitos. A PNRS previu, no art. 36, inciso V, a necessidade de implantação, pelos titulares dos serviços de sistemas de compostagem para resíduos sólidos orgânicos e articulação com os agentes econômicos e sociais, as formas de utilização do composto produzido (BRASIL, 2010). Desta forma, entende-se que a promoção da compostagem da fração orgânica dos resíduos, assim como a implantação da coleta seletiva e da disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, faz parte do rol de obrigações dos municípios.

No Brasil a ausência de iniciativas consolidadas para aproveitamento e recuperação da fração orgânica dos RSU, sobrecarregam os sistemas de destinação final, que recebem aproximadamente 71,34 milhões de toneladas por ano, das quais 12,4 milhões de toneladas ainda são depositadas em lixões, a pior forma de destinação possível e fonte diária de poluição ambiental, causadora de diversos problemas de saúde (ABRELPE, 2016).

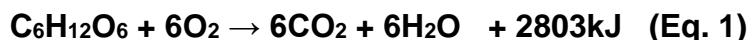
3.3 COMPOSTAGEM

A compostagem é uma decomposição biológica de resíduos orgânicos em um ambiente aeróbico ou anaeróbico, sendo o primeiro mais comum. É um processo considerado de baixo custo que reduz o volume inicial dos resíduos que degrada substâncias tóxicas e ou patógenos presentes nos resíduos fornecendo matéria orgânica estabilizada.

Considera-se resíduo orgânico a fração orgânica presente nos RSU, ressaltando-se que, em um mesmo período de tempo, nem todos os resíduos orgânicos são passíveis de compostagem, como por exemplo: madeira tratada, borracha e couro (SIQUEIRA e ASSAD, 2015). A matéria orgânica dos resíduos é consumida por microrganismos aeróbicos termofílicos e mesofílicos como substratos e convertidos em produtos mineralizados tais como CO₂, H₂O, NH₄ ou matéria orgânica estabilizada. O composto resultante é uma mistura complexa,

rica em húmus e estável, que pode melhorar as propriedades físicas do solo (LIM *et al.*, 2016).

As substâncias nutritivas, como carboidratos, aminoácidos, lipídios e proteínas, são rapidamente decompostas pelos microrganismos. Fricke e Santen (2005) demonstram através da reação bioquímica de mineralização, eq. (1) a degradação aeróbia da glicose realizada pelos microrganismos. A energia liberada nesta reação de oxidação é utilizada para o metabolismo, crescimento e multiplicação dos mesmos, o excedente energético produzido é libertado sob a forma de calor.



Através da respiração aeróbia, que é o processo pelo qual os microrganismos degradam os compostos orgânicos, a fim de obter a energia metabólica, essa fórmula demonstra o processo químico da molécula de glicose para sintetizar trifosfato de adenosina (ATP), sendo fundamental para a célula, pois fornece a energia livre para realizar as atividades necessárias (FRICKE E SANTEN, 2005).

3.3.1. Fontes de Material Orgânico para a Compostagem

Os materiais utilizados para a compostagem podem ser divididos em duas classes, a dos materiais ricos em carbono e a dos materiais ricos em nitrogênio. Entre os materiais ricos em carbono pode se considerar os materiais lenhosos, como por exemplo, a casca de árvores, as aparas de madeira, as podas dos jardins, folhas e galhos das árvores, palhas e fenos, e papel.

Entre os materiais nitrogenados incluem-se as folhas verdes, estrumes animais, urinas, solo, restos de vegetais hortícolas, erva, etc. O papel pode ser utilizado, mas não deve exceder 10% da pilha (Oliveira *et al.*, 2008).

Os materiais para compostagem não devem conter vidros, plásticos, tintas, óleos, metais, pedras etc. Não devem conter um excesso de gorduras (porque podem libertar ácidos graxos de cadeia curta como o acético, o propiónico e o butírico os quais retardam a compostagem e prejudicam o composto), ossos inteiros (os ossos só se devem utilizar se forem moídos), ou outras substâncias que prejudiquem o processo de compostagem. A carne deve ser evitada nas pilhas de compostagem porque pode atrair animais.

3.3.2 Fases da Compostagem

O processo de compostagem pode ser dividido em três fases: ativação inicial, fase termófila e fase mesófila (LIM *et al.*, 2016), segundo relato de Kiehl (2004), a fase de ativação inicial é rápida, já sobre a fase termófila, Sarkar, S.; Pal, S.; Chanda, S., (2016) relata que essa fase é muito dinâmica, onde ocorre alta atividade microbiana para acelerar a degradação da matéria orgânica, nesta fase também ocorre à higienização do composto.

Observa-se na Figura 1 que a temperatura ótima nesta fase fica em torno de 60°C. A fase mesófila é considerada a fase de maturação em que predominam temperaturas moderadas onde atuam microrganismos agentes das primeiras degradações que toleram temperaturas até cerca de 40°C. De acordo com D'Almeida e Vilhena (2018) para fins práticos, são dois os principais graus de

decomposição do material submetido ao processo de compostagem: semicurado ou tecnicamente bioestabilizado e curado ou humificado onde predominam microrganismos mesófilos.

O primeiro indica que o composto já pode ser empregado como fertilizante sem causar danos às plantas; o segundo indica que está completamente degradado e estabilizado, com qualidade apropriada para ser utilizado. Também na Figura 1, pode-se observar a evolução da cura.

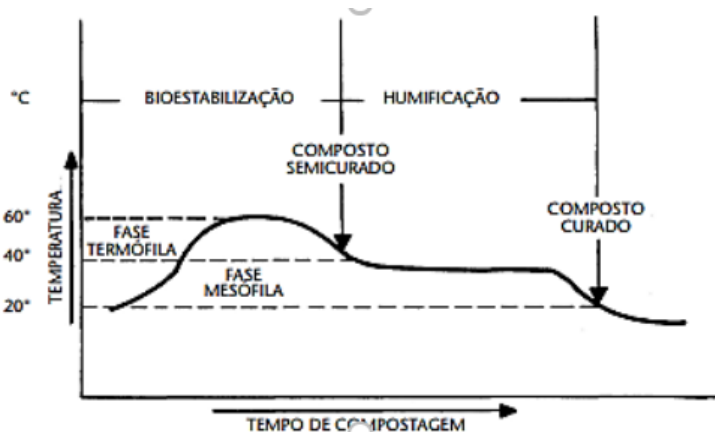


Figura 1. Fases da Compostagem.
Fonte. D'ALMEIDA e VILHENA, 2018.

3.3.3 Principais fatores que influenciam na compostagem

Os principais fatores que influenciam a qualidade do composto produzido são: os microrganismos, a umidade, a aeração, o tempo e a temperatura ao longo do processo, a relação C/N, o pH e a granulometria da matéria orgânica a ser decomposta. Os parâmetros odor, metais pesados e bioaerossóis podem avaliar além da qualidade do composto, os impactos em compartimentos ambientais e na saúde humana.

3.3.3.1 Microrganismos, Odor e Bioaerossóis

À medida que o processo de compostagem se inicia, há proliferação de populações complexas de diversos grupos de microrganismos (bactérias, fungos, actinomicetos), que vão se sucedendo de acordo com as características do meio (FERNANDES e SILVA, 1999). Fungos termofílicos morrem quando a temperatura na compostagem atinge 60°C, restando apenas bactérias e actinomicetos (LIMA, 2004), temperaturas mínimas, máximas e ótimas para o crescimento das bactérias são mostradas na Tabela 1.

Os principais compostos causadores de odor durante o processo são à base de carbono, nitrogênio e enxofre, e incluem sulfeto de hidrogênio, sulfatos orgânicos voláteis, amônia, piridina, aminas, hidrocarbonetos, terpenos, álcoois, cetonas, aldeídos e ésteres (WEI *et al.*, 2017). Os bioaerossóis compreendem uma coleção de microrganismos suspensos no ar, incluindo fungos (tipicamente *Aspergillus fumigatus* e *Penicillium sp.*), esporos fúngicos (por exemplo, *Firmicutes*, *Actinomycetes* e *Proteobacteria*), esporos

bacterianos (principalmente endotoxinas e glucanos) e produtos metabólicos dos microrganismos (por exemplo: micotoxinas) (WEI *et al.*, 2017).

Tabela 1. Temperaturas mínimas, ótimas e máximas, em °C, para as bactérias que atuam no processo de compostagem.

Bactérias	Temperatura mínima	Temperatura ótima	Temperatura máxima
Mesófilas	15 a 25	25 a 40	43
Termófilas	25 a 45	50 a 55	85

Fonte. Fernandes e Silva, 1999.

3.3.3.2 Umidade

O grau de umidade indicado para o processo de compostagem é de 40 a 60%, teores abaixo retardam o processo por inibir a atividade biológica e acima tornam o meio anaeróbio (KIEHL, 2004; LIMA 2004). À medida que se colocam as camadas dos materiais orgânicos compostáveis poderá ser necessário adicionar água para controle da umidade, durante os primeiros 14 dias de compostagem (OLIVEIRA, E.C.A.; SARTORI, R.H.; GARCEZ, T.B., 2008). Ainda, Lim *et al.*, (2016), distinguem dois níveis percentuais de umidade em função da granulometria do resíduo orgânico, sendo para resíduos orgânicos grosseiros entre 70 e 75% e resíduos orgânicos finos entre 55 e 65%.

No final do processo de compostagem, a umidade do composto para uso agrícola deve ser, no máximo, de 40% (D'ALMEIDA e VILHENA, 2018). De acordo com Lima (2004) a umidade do composto orgânico curado quando estocado em pátios cobertos deve ser inferior a 35% para que não ocorra favorecimento da decomposição anaeróbia com a produção de gases de odor desagradável, além de ser recusado pelos agricultores por elevar os custos com transporte.

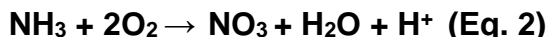
3.3.3.3 Aeração

O fornecimento de ar é vital à atividade microbiana, pois os microrganismos aeróbios têm necessidade de O₂ para oxidar a matéria orgânica que lhes serve de alimento. De acordo com D'Almeida e Vilhena (2018) a aeração em níveis adequados, possibilita a decomposição da matéria orgânica de forma mais rápida, sem odores ruins, sendo função da granulometria, da agregação e da umidade dos resíduos. Caso a aeração seja muito baixa no processo de compostagem, a atividade biológica fica reduzida e se for muito elevada, a aeração é prejudicada e ocorre anaerobiose, sendo necessário, portanto o controle para que não ocorram emissões gasosas de CH₄, produção de chorume e anaerobiose do composto (D'ALMEIDA e VILHENA, 2018; HIJAZIN e PIRES, 2012).

Microrganismos aeróbios utilizam o oxigênio como aceptor final de elétrons na cadeia respiratória e crescem a um nível de O₂ equivalente ou maior que o presente no ar atmosférico (21%) possuindo o metabolismo estritamente respiratório (PELCZAR *et al.*, 1997a).

A demanda de oxigênio é função das características dos resíduos utilizados e das condições de compostagem, sendo pequena nos primeiros dias e atingindo seu pico na fase termófila, para em seguida diminuir. No processo de compostagem, a

aeração fornece O₂ à atividade microbiana, remove CO₂, H₂O e calor como mostrado nas eq. (1) e na eq. (2).



A aeração é em função da granulometria, da agregação e da umidade dos resíduos (D'ALMEIDA e VILHENA, 2018). O controle da aeração no processo de compostagem é importante também para a oxidação da NH₃ e produção de NO₃, como pode ser observado na eq. (2). O nitrato é um composto nitrogenado inorgânico importante no ciclo do nitrogênio nos processos de desnitrificação e adubação do solo (PELCZAR *et al.*, 1997b).

De acordo com Lima (2004) na digestão aeróbia, em sistemas fechados, a vazão mínima de ar necessária varia de 0,60 a 0,80 m³ por dia e por quilograma de sólido volátil (SV).

3.3.3.4 Tempo e Temperatura

O tempo e a temperatura necessários para a compostagem de resíduos orgânicos estão associados aos vários fatores que influem no processo, ao método empregado e às técnicas operacionais. A temperatura é utilizada tanto para o controle de crescimento de microrganismos quanto para a higienização dos resíduos sólidos orgânicos durante o processo de compostagem.

O tempo é utilizado para o controle das diferentes fases da compostagem (ativação, mesófila e termófila) e qualidade do composto (semicurado e curado) para os diferentes sistemas de compostagem, como mostra a Tabela 1 (citada anteriormente) e, também é um parâmetro que deve ser levado em conta para a higienização do composto de acordo a Tabela 2.

Tabela 2. Períodos de tempo e temperatura necessários para higienização dos resíduos sólidos orgânicos durante o processo de compostagem.

Sistemas de Compostagem	Temperatura (°C)	Tempo (dias)
Sistemas Abertos	>55	14
	>65	3
Sistemas Fechados	>60	3

Fonte. Brasil, 2017.

A compostagem natural leva de 60 a 90 dias para atingir a bioestabilização e de 90 a 120 dias para humificação. A compostagem acelerada leva de 45 a 60 dias para a semicura e de 60 a 90 dias para a cura completa ou humificação, essa diferença deve-se basicamente à duração da fase termófila no processo acelerado, que é reduzida de algumas semanas para dois a quatro dias (D'ALMEIDA e VILHENA, 2018).

Em relação ao tempo e temperatura do processo de compostagem Sarkar, S.; Pal, S.; Chanda, S. (2016) afirmam que a fase termófila da compostagem, dura de 14 a 56 dias, em que a temperatura sobe, podendo chegar a 70°C, em seguida, a temperatura cai para cerca de 30°C, tendo início uma fase mesófila, que dura de 60

a 120 dias, até que haja a estabilização e a temperatura caia até a temperatura ambiente.

3.3.3.5 Relação Carbono e Nitrogênio (C/N)

A relação Carbono/Nitrogênio (C/N) na compostagem significa a relação de proporção de carbono contida em cada material em relação ao nitrogênio, sendo de relevante importância para os organismos presentes nas composteiras ou em seu local de compostagem. Aspectos como o equilíbrio nessa relação deve ser um fator primordial, pois é determinante para eficiência do processo.

Essa relação é debatida entre diversos autores, por exemplo, para Kiehl, 2004 a obtenção da relação C/N entre 25:1 e 35:1 é considerada ótima para iniciar o processo de compostagem. Já LIM *et al.*, (2016) consideram a relação C/N para o processo de compostagem entre 20:1 e 50:1. Para D'Almeida e Vilhena (2018) a relação C/N desejável para o início da compostagem deve ser da ordem de 30:1 e a relação $C/N \leq 18/1$ indica que o composto está semicurado enquanto que para a relação $C/N < 12/1$, o composto está curado.

O carbono e o nitrogênio são fundamentais ao crescimento bacteriano, o carbono é a principal fonte de energia e o nitrogênio é necessário para a constituição da matéria celular sintética. Uma alta relação C/N limita o processo de compostagem devido a um excesso de substrato degradável para os microrganismos, pelo fato de que os materiais residuais contendo a maior quantidade de carbono disponível apresentaram menor temperatura durante a fase termofílica, enquanto que uma baixa relação C/N fornece um excesso de nitrogênio por carbono degradável, como consequência o nitrogênio inorgânico produzido em excesso, sendo volatilizado na forma de NH_3 ou lixiviado (LIN *et al.*, 2016).

3.3.3.6 pH

O pH para o crescimento bacteriano deve ser controlado ao longo do processo de compostagem pois valores muito baixos ou muito altos deste parâmetro químico pode reduzir ou até inibir a atividade microbiana afetando a qualidade do composto produzido. Microrganismos devem manter o seu pH intracelular em torno de 7,5, não importando o valor do pH externo (PELCZAR *et al.*, 1997a).

Quando são utilizadas misturas com pH próximo da neutralidade, o início da compostagem (fase mesófila) é marcado por uma queda sensível de pH, variando de 5,5 a 6,0, devido à produção de ácidos orgânicos. Quando a mistura apresentar pH próximo de 5,0 ou ligeiramente inferior há uma diminuição drástica da atividade microbiológica e o composto pode não passar para a fase termófila (FERNANDES e SILVA, 1999).

A passagem à fase termófila é acompanhada de rápida elevação do pH, que se explica pela hidrólise das proteínas e liberação de NH_3 , dessa forma, normalmente o pH se mantém alcalino (7,5 à 9,0) durante a fase termófila (FERNANDES e SILVA, 1999). De acordo com D'Almeida e Vilhena (2018), o resíduo domiciliar é ácido e apresenta pH na faixa de 4,5 a 5,5 o composto orgânico deve ter um pH de no mínimo, 6,0 e o composto curado humificado deve apresentar valores de pH entre 7,0 e 8,0.

3.3.3.7 Granulometria e Porosidade

O resíduo orgânico a ser compostado deve ter granulometria adequada para o processo, para garantir boa aeração das leiras. As dimensões de partícula devem atingir 1,2 cm x 5 cm, excesso de finos podem acarretar produção de chorume e formação de torrões (D'ALMEIDA e VILHENA, 2018).

Alguns autores obtiveram condições ótimas de compostagem com substratos, apresentando de 30% a 36% de porosidade e tamanho de partículas entre 25 e 75 mm (CASTILHOS JUNIOR, 2006). De acordo com Lima (2004) o composto orgânico curado deve apresentar partículas finas entre 0,1 e 2 mm.

3.3.3.8 Metais Pesados

São considerados como metais pesados os elementos que possuem massa específica maior que 6,0 g/cm³. No entanto, o termo “metal pesado” é, às vezes, utilizado indiscriminadamente para os elementos químicos que contaminam o meio ambiente e podem provocar diferentes níveis de dano à biota (FERNANDES e SILVA, 1999).

Os principais metais pesados controlados no processo de compostagem são: As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Se, Zn e Mo (FRICKE e SANTEN, 2005; HERNÁNDEZ, T.; GARCIA. E.; GARCIA C., 2015; WEI *et al.*, 2017). Os teores de metais pesados solúveis no solo são geralmente baixos.

Entretanto, o emprego de fungicidas, fertilizantes minerais, esterco de animais na agricultura e o descarte de RSU, lodo de esgoto e industriais no solo, podem elevar a concentração de metais pesados neste compartimento ambiental a níveis capazes de causar danos ao meio ambiente e saúde dos seres vivos. Os metais pesados podem inativar proteínas celulares, causar toxicidade ou efeito letal em microrganismos (PELCZAR *et al.*, 1997a).

3.3.3.9 Sólidos Totais Voláteis (STV)

Uma compostagem eficiente deve reduzir o teor STV para a 50% de seu valor inicial (HIJAZIN e PIRES, 2012; SOUZA *et al.*, 2002). Teoricamente, a degradação dos sólidos voláteis biodegradáveis do material a ser compostado pode ser estimada pela reação química de uma molécula biodegradável como mostrado na eq. (3) (FERNANDES e SILVA, 1999).



4 CONCLUSÕES

Através deste trabalho é possível ter uma visão geral sobre a importância da discussão dos resíduos sólidos urbanos, bem como alternativas de tratamento. A compostagem tem o potencial de diminuir os custos de tratamento de resíduos orgânicos em cidades e ainda assim gerar um substrato sustentável e de qualidade para agricultura. Parâmetros de controle como temperatura e umidade são essenciais para o controle do processo e a qualidade do substrato, a relação C/N

mostra-se de inteira preocupação durante todo o processo de compostagem, regular a relação C/N condiz para que não haja desequilíbrio, e conseqüentemente não afete o tempo de decomposição da matéria orgânica, não eliminando os microrganismos/minhocas. Vale salientar que se a relação C/N for baixa, está condizendo com uma carência de carbono, em contrapartida excesso de nitrogênio que causam odores fortes, uma das alternativas viáveis se isso ocorrer é adicionar materiais com alto teor de carbono, como por exemplo, serragem, palha, podas... Todas essas alternativas são de custo financeiro baixo.

Agora se a relação está considerada alta, quer dizer que há pouco Nitrogênio e há em excesso carbono, o efeito negativo é limitar o crescimento dos microrganismos que na composteira estão desempenhando sua função, a principal causa de ocorrência é a temperatura não conseguir aumentar, as trocas de fases durarem mais e o composto final pode não ter propriedades físicas/químicas boas para o solo, uma alternativa viável caso essa relação ocorrer é acrescentar materiais ricos em nitrogênio, como por exemplo, resto de comida.

REFERÊNCIAS

- 1 ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2013**. São Paulo, 2013. 112 p. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2016**. São Paulo, 2016. 64 p.
- 2 ALMEIDA, L.M.S.; GABERLINI, E.R.; PINHEIRO, P.B.G. **Unidades de Triagem e Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos - Apostila para a Gestão Municipal de Resíduos Sólidos Urbanos**. Curitiba, 2013, 2ªed., 67p. Disponível em: <http://www.meioambiente.mppr.mp.br/arquivos/File/Apostila_compostagem_Final_Pos_Print.pdf> Acesso em: 04 Jul. 2018.
- 3 BRASIL. Constituição (2017). **Resolução Conama nº 481, de 03 de outubro de 2017**. Estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, e dá outras providências. Brasília, DF, p. 1-4. Disponível em: <<http://www.agencia.baciaspcj.org.br/docs/resolucoes/resolucao-conama-481-17.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2018.
- 4 BRASIL. Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**; altera a Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília: Câmara dos Deputados, n. 81, 2010.
- 5 CASTILHOS JÚNIOR, A. B. (coord.). **Tratamento, Recuperação e Disposição Integrados de Resíduos Sólidos Urbanos, com ênfase na Proteção dos Corpos D'água**. PROSAB/FINEP. 2006. 494 p.
- 6 CUNHA, M.C., WASKOW, R.P.; KANNO, R.; TUBINO, R. M.C. **Métodos de Compostagem para o Meio Urbano**. In: **Anais do Encontro Latino Americano e Europeu sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis**, II. , 2017. São Leopoldo, RS. Anais... Casa Leiria, 2017. p. 957-965.

- 7 D'ALMEIDA, M.L.O.; VILHENA, A. Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2018.
- 8 FERNANDES, F., SILVA, S. M. C. P. **Manual Prático para Compostagem de Biossólidos**. 1ª Edição. Rio de Janeiro: ABES. 1999.
- 9 FRICKE, K.; SANTEN, H. **Pre-Feasibilitystudie Anwendung von Methanoxidationsfiltern für Deponiegas unter Nutzung der Mechanismen des Klimahandels für die Deponie Roselândia, Novo Hamburgo, Brasilien**. Universidade Técnica de Braunschweig. Projeto de Pesquisa, Novo Hamburgo, RS. Out. a Dez. 2005. 159p.
- 10 HIJAZIN, C. A. H; PIRES, M.S. Minicompostagem: **Uso para os Resíduos Sólidos Domésticos**. *Revista Conexão Academia* - ABRELPE, São Paulo, n.3, p. 35-42, 2012.
- 11 HERNÁNDEZ, T.; GARCIA, E.; GARCÍA, C. A strategy for marginal semiarid degraded soil restoration: o sole addition of compost at higt rate. A five-year field experiment. *Soil Biology & Biochemistry*, Spain, v.89, p.61-71, 2015.
- 12 KIEHL, E. J. **Manual de Compostagem: maturação e qualidade do composto**. 4º Edição. Piracicaba, São Paulo, 2004. 173p.
- 13 KLEIN, F.B.; DIAS, S.L.F.G.; JAIÓ, M. **Gestão de resíduos sólidos urbanos nos municípios da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê: uma análise sobre o uso de TIC no acesso à informação governamental**. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, São Paulo, v.10, n.1, p.140-153, 2018.
- 14 LIM, S.L.; LEE, L.H.; WU, T.Y. **Sustainability of using composting and vermicomposting technologies for organic solid waste biotransformation: recent overview, greenhouse gases emissions and economic analysis**. *Journal of Cleaner Production*, Malasia, v.111, p.262-278, 2016.
- 15 LIMA, L. M.Q. **Lixo Tratamento e Biorremediação**. 3º Edição. São Paulo: Hemus, 2004. 265p.
- 16 NOVO HAMBURGO. Prefeitura Municipal. Secretaria Municipal do Meio Ambiente – SEMAN. **Plano de Gestão Integrada de Resíduos (PMGIRS)**. Novo Hamburgo, 2017, 99p.
- 17 OLIVEIRA, E.C.A.; SARTORI, R.H.; GARCEZ, T.B. **Compostagem**. *Universidade de São Paulo- Escola Superior de Agricultura Luiz de Quieroz - Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas*. São Paulo. 2008 (Apostila de Matéria Orgânica do Solo).
- 18 PELCZAR JR. M. J.; CHAN, E. C. S.; KRIEG, N. R.; EDWARDS, D. D. PELCZAR, M. F. **Microbiologia: conceitos e aplicações**. São Paulo: Pearson, 1997a. v.1, 524p.
- 19 PELCZAR JR. M. J.; CHAN, E. C. S.; KRIEG, N. R.; EDWARDS, D. D. PELCZAR, M. F. **Microbiologia: conceitos e aplicações**. São Paulo: Pearson, 1997b. v.2, 517p.

- 20 SARKAR, S.; PAL, S.; CHANDA, S. **Optimization of a Vegetable Waste Composting Process with a Significant Thermophilic Phase.** *Procedia Environmental Sciences, India*, v.35, p.435-440, 2016.
- 21 SIQUEIRA, T.M.O.; ASSAD, M.L.R.C.L. **Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos no Estado de São Paulo (Brasil).** *Revista Ambiente & Sociedade, São Paulo*, v.18, n.4, p.243-264, 2015.
- 22 SOUZA, F.C.; NETO, J.T.P.; CEBALLOS, B.S.O.; MOTA, J.P. **Avaliação da Compostagem Mesofílica em Escala Real - XXVIII interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental,** Cancún, México; outubro, 2002. 5p.
- 23 WEI, W.; LI, J.; SHI, D.; LIU, G.; ZHAO, Y.; SHIMAOKA, T. **Environmental challenges impeding the composting of biodegradable municipal solid waste: A critical review.** *Resources, Conservation and Recycling, China*, v.122, p.51-65, 2017.

INFLUÊNCIA DA LIGNINA NA PROTEÇÃO TÉRMICA DE REVESTIMENTOS INTUMESCENTES A BASE DE BENZOXAZINA

Beraldo, C. H. M.¹
Carvalho, V. C. de A.²
Silveira, M. R. da S.³
Baldissera, A. F.⁴
Ferreira, C. A.⁵

- ¹ Bacharel, Carlos Henrique Michelin Beraldo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, carlos.beraldo@ufrgs.br
- ² Graduando, Victória Cristine de Abreu Carvalho, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, vivi.cristine@hotmail.com
- ³ Mestre, Mauro Ricardo da Silva Silveira, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, mauro.ricardo@ufrgs.br
- ⁴ Pós-doutor, Alessandra Fiorini Baldissera, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, alebaldissera@hotmail.com
- ⁵ Pós-doutor, Carlos Arthur Ferreira, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, ferreira.carlos@ufrgs.br

Resumo

A utilização de revestimentos intumescentes é um método de interesse para a proteção de substratos metálicos. Estes revestimentos são caracterizados pela formação de uma camada carbonosa protetora quando expostos a uma fonte de calor externa. Na sua formulação, tintas intumescentes são compostas por basicamente três componentes: uma fonte de carbono, uma fonte ácida e um agente de expansão. A benzoxazina é uma resina de grande interesse na engenharia aeroespacial e na eletrônica, por apresentar intrinsecamente característica retardante de chama. A utilização da lignina como fonte de carbono nessas tintas vem sendo estudada por apresentar grande interesse ambiental. O objetivo do presente estudo é avaliar a concentração de lignina em tintas intumescentes a base de benzoxazina. Diferentes formulações contendo três concentrações de lignina foram aplicadas em placa de aço e submetidas a ensaios de chama. O aumento de temperatura do substrato foi medido através de termopar e a distribuição de temperatura monitorado por câmera termográfica. O ensaio de chama indicou uma diminuição de aproximadamente 270 °C entre a placa de aço não-revestida e a formulação contendo maior concentração de lignina. Observou-se que o aumento da concentração de lignina na formulação melhora o desempenho protetor dos revestimentos.

Palavras-chave: Benzoxazina; Lignina; Revestimentos intumescentes; Proteção térmica.

INFLUENCE OF LIGNINE IN THERMAL PROTECTION OF BENZOXAZINE-BASED INTUMESCENT COATINGS

Abstract

The use of intumescent coatings is a method of interest for the protection of metal substrates. These coatings are characterized by the formation of a protective carbonaceous layer when exposed to an external heat source. In its formulation,

intumescent paints are composed of basically three components: a carbon source, an acid source and an expanding agent. Benzoxazine is a resin of great interest in aerospace engineering and electronics because it presents intrinsically flame retardant characteristics. The use of lignin as a source of carbon in these paints has been studied because it has great environmental interest. The objective of the present study is to evaluate the concentration of lignin in benzoxazine-based intumescent paints. Different formulations containing three concentrations of lignin were applied on a steel plate and exposed to a flame test. The substrate temperature increase was measured by thermocouple and the temperature distribution monitored by a thermographic camera. The flame test indicated a decrease of approximately 270 °C between the uncoated steel plate and the formulation containing the highest concentration of lignin. It has been observed that increasing the concentration of lignin in the formulation improves the protective performance of the coatings.

Keywords: Benzoxazine; Lignin; Intumescent coatings; Thermal protection.

1 INTRODUÇÃO

O aço estrutural é um material amplamente utilizado no setor da engenharia. Este é muito utilizado em estruturas de diversas construções, como prédios e plataformas de petróleo. Mesmo fundindo a temperaturas próximas à 1500 °C, este perde grande parte de suas propriedades mecânicas quando exposto a temperaturas iguais ou superiores a 500 °C, temperatura facilmente alcançada em incêndios convencionais ⁽¹⁻³⁾. Por este motivo, a proteção do aço torna-se necessária para evitar que a estrutura entre em colapso.

Tintas intumescentes vêm se mostrando boas alternativas para a proteção passiva contra o fogo. Estes revestimentos se caracterizam pela formação de uma camada cerâmica protetora de baixa condutividade térmica. Eles são compostos basicamente por três componentes: uma fonte ácida, uma fonte de carbono e um agente de expansão. Com a elevação da temperatura, reações consecutivas ocorrem entre estes componentes, gerando a camada protetora. Comumente são adicionados retardantes de chama à formulação, aumentando a eficiência antichama da tinta ^(4,5). A benzoxazina é uma resina de interesse no campo de engenharia, pois apresenta boas propriedades mecânicas e é intrinsecamente retardante de chama, devido aos grupos funcionais presentes em sua estrutura química ^(6,7).

Por questões ambientais, vem se estudando a substituição de componentes sintéticos por componentes provenientes de fontes renováveis. A lignina é um composto vegetal, subproduto do beneficiamento da celulose. Ela está presente em 15-35% na composição da parede celular dos vegetais. Sua estrutura química apresenta grande quantidade de anéis aromáticos e grupos hidroxilas, características que a tornam uma boa candidata para atuar como fonte de carbono em tintas intumescentes. Sua adição em sistemas retardantes de chama já vem sendo estudada e apresenta resultados promissores ⁽⁸⁾. Porém, a influência de sua concentração ainda não foi verificada em sistemas a base de resina benzoxazina.

O objetivo do presente estudo é verificar a influência de diferentes concentrações de lignina em tintas intumescentes a base de resina benzoxazina. Para isto, diferentes formulações contendo concentrações distintas deste componente foram avaliadas através de ensaio de queima.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

As tintas foram formuladas a partir dos seguintes componentes: resina benzoxazina Araldite LZ 8291 N80 CI (Huntsman), plastificante/agente de cura Jeffamine ED-600 (Huntsman), polifosfato de amônio (APP) Exolit AP-422 (Clariant), ácido bórico 100% P.A (Synth), grafite expansível (GE) Grafexp 9560-150 (Nacional de Grafite) e lignina (Suzano).

2.2 Métodos

Na Tabela 1 estão presentes as formulações preparadas, em % de massa seca.

Tabela 1. Formulação das tintas

Tinta	Resina (%)	Lignina (%)	Ac. Bórico (%)	APP (%)	GE (%)
BL5A10	65	5	10	12	8
BL10A10	60	10	10	12	8
BL15A10	55	15	10	12	8

Os pós foram previamente misturados manualmente e após foram incorporados na resina através do dispersor modelo DISPERMAT N1 (WMA-GETZMANN GMBH) acoplado de um disco tipo *Cowles*, sob agitação de 6000 rpm durante uma hora. A adição de solvente metil-etil-cetona (MEK) (Neon) foi realizada para manutenção da viscosidade do meio. Ao final de 1 hora, o plastificante/agente de cura foi adicionado manualmente na proporção de 25 phr.

As tintas foram aplicadas em chapas de aço carbono AISI 1010. Estas foram previamente desengraxadas com acetona e após lixadas com lixa #80. Após a aplicação das tintas, as amostras foram deixadas ao ar livre durante uma semana para a secagem dos revestimentos. A espessura final dos revestimentos foi de $2,5 \pm 0,1$ mm.

Após uma semana expostas ao ar, as amostras foram submetidas a ensaios de queima. Para tal, as amostras foram fixadas a uma distância de 2,5 cm do bocal de um bico de Bunsen (f70, Orca) e expostas à uma chama alimentada por gás metano 99% (White Martins) gerada sob pressão constante de 1 bar. O monitoramento da temperatura foi realizado através de um termopar tipo K (Thermomax). A distribuição de temperatura na face posterior do substrato metálicos foi monitorado por uma câmera termográfica modelo Fluke Ti400 (Fluke) na região espectral do infravermelho. O ensaio foi conduzido durante 30 minutos e realizado em duplicata.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 é possível visualizar a evolução da temperatura das chapas metálicas durante a realização do ensaio de queima.

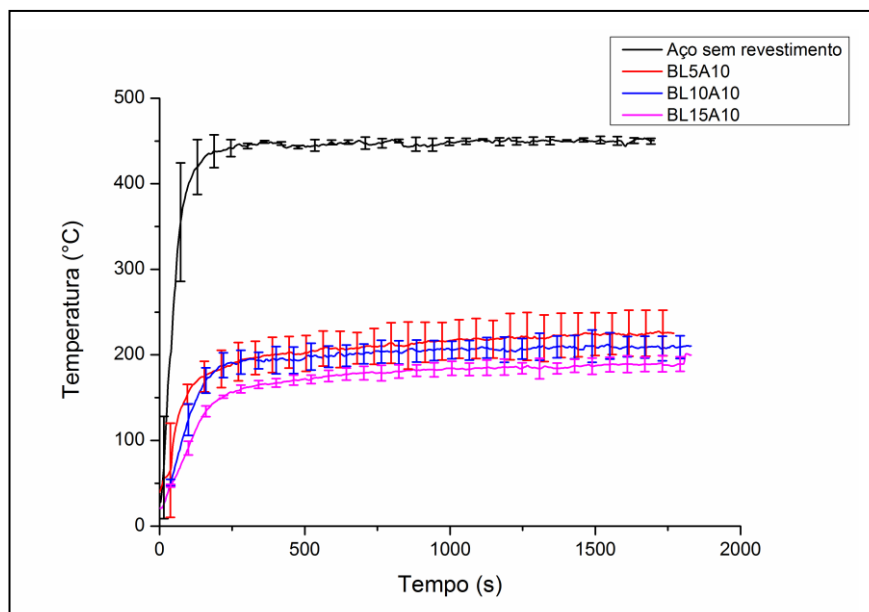


Figura 1. Evolução da temperatura das chapas.

A partir da Figura 1, observou-se a eficiência dos revestimentos, caracterizada pela diminuição da temperatura das chapas em comparação a chapa não-revestida. Observou-se que a eficiência protetora foi maior nas formulações contendo mais lignina, havendo diminuição de aproximadamente 270 °C entre a amostra não-revestida e a formulação contendo maior porcentagem de lignina (BL15A10). Jiao *et al.* ⁽⁹⁾ observaram que a adição de lignina em sistemas retardantes de chama melhora a eficiência destes, pois auxilia na formação de uma camada carbonosa mais estável. Também foi observado por de Sá *et al.* ⁽¹⁰⁾ que a adição de compostos de origem vegetal, constituídos de lignina e celulose, funcionam como boas fontes de carbono, aumentando a eficiência antichama.

Na Figura 2 são apresentadas as chapas revestidas após o ensaio de queima e no Quadro 1 podem ser visualizados os valores de expansão da camada carbonosa.

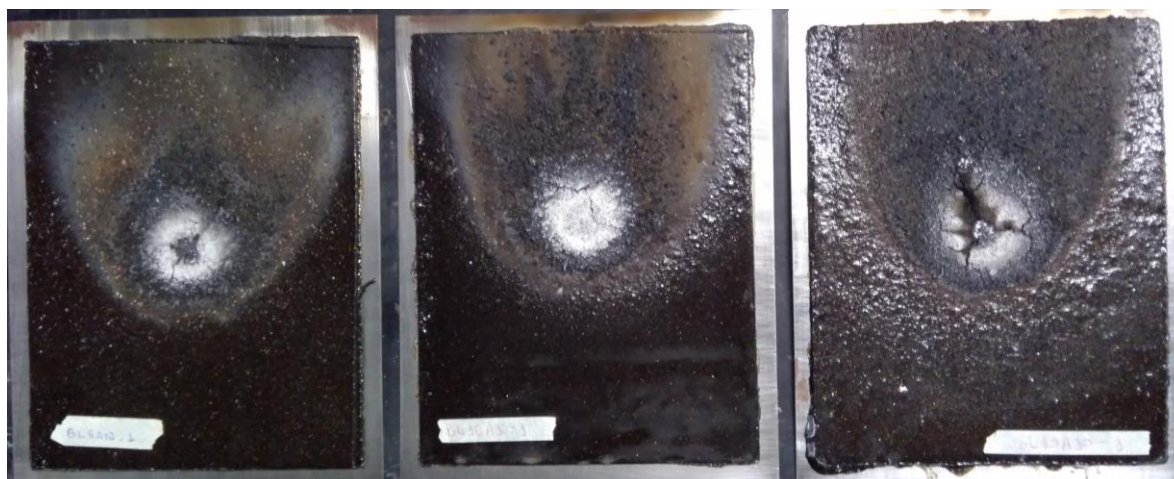


Figura 2. Chapas revestidas após ensaio de queima. Da esquerda para direita: BL5A10, BL10A10 e BL15A10.

Formulação	Expansão (%)
BL5A10	187,3
BL10A10	202,3
BL15A10	189,5

Quadro 1. Expansão da camada carbonosa.

A partir das informações contidas no Quadro 1, pode-se verificar que o aumento da quantidade de lignina não influenciou significativamente na expansão da camada carbonosa. Foi suposto que o aumento da quantidade de lignina influencia na coesão da camada carbonosa e não na sua expansão, visto que a temperatura diminui com o aumento da concentração de lignina e quanto mais coesa a camada carbonosa formada, maior sua eficiência antichama ⁽¹¹⁾.

Na Figura 3 é apresentada a distribuição de temperaturas das chapas nos tempos de 300 s, 900s e 1800 s.

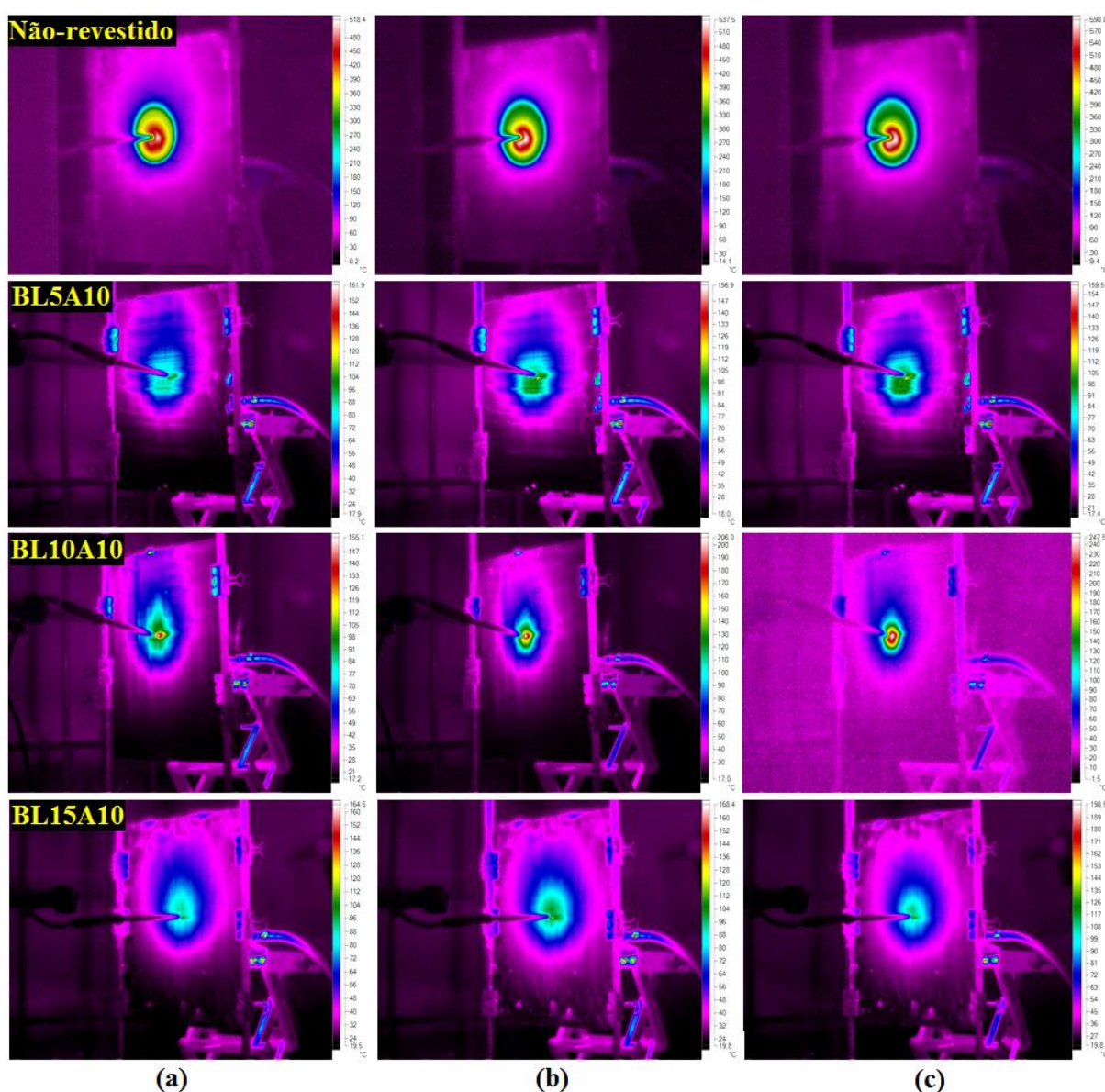


Figura 3. Distribuição de temperaturas das chapas nos tempos (a) 300 s, (b) 900 s e (c) 1800 s.

A partir das imagens obtidas pela câmera termográfica apresentadas na Figura 3, pode-se verificar que a temperatura das chapas aumenta até aproximadamente 900 s, mantendo-se constante durante o restante do ensaio de queima. Isto se deve à formação da camada carbonosa protetora. Estes resultados são coerentes e corroboram com o comportamento da temperatura observado pelo termopar.

4 CONCLUSÃO

O objetivo do presente estudo foi verificar a influência da concentração de lignina como fonte de carbono em tintas intumescentes a base de resina benzoxazina. A partir do ensaio de queima, foi observado que o aumento da concentração de lignina aumenta a eficiência antichama das tintas, pois as chapas revestidas com as formulações contendo este componente apresentaram uma diminuição de, no mínimo, 200 °C em relação à chapa não-revestida. Este estudo indicou que a lignina é um componente promissor no estudo de revestimentos retardantes de chama, apresentando interesse científico e ambiental.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES e ao CNPq pelo financiamento da pesquisa. Os autores também agradecem à Huntsman pelo fornecimento da resina benzoxazina e do componente Jeffamine, à Suzano pelo fornecimento da lignina e a Nacional de Grafite pelo grafite expansível.

REFERÊNCIAS

- 1 BABRAUSKAS, V. Temperatures in flames and fires. **Fire Science and Technology INC.**, 2006. Disponível em: <<https://www.doctorfire.com/flametmp.html>>. Acesso em: 19 jul. 2018.
- 2 JIMENEZ, M.; DUQUESNE, S.; BOURBIGOT, S. Characterization of the performance of an intumescent fire protective coating. **Surface and Coatings Technology**, v. 201, p. 979-987, 2006.
- 3 UNLU, S. M.; TAYFUN, U.; YILDIRIM, B.; DOGAN, M. Effect of boron compounds on fire protection properties of epoxy based intumescent coating. **Fire and Materials**, v. 41, p. 17-28, 2017.
- 4 ALONGI, J.; HAN, Z.; BOURBIGOT, S. Intumescence: Tradition versus novelty. A comprehensive review. **Progress in Polymer Science**, v. 51, p. 28-73, 2015.
- 5 GARDELLE, B.; DUQUESNE, S.; RERAT, V.; BOURBIGOT, S. Thermal degradation and fire performance of intumescent silicone-based coatings. **Polymers Advanced Technologies**, v. 24, p. 62-69, 2013.
- 6 KISKAN, B. Adapting benzoxazine chemistry for unconventional applications. **Reactive and Functional Polymers**, v. 129, n. January, p. 76–88, 2018.
- 7 SONNIER, R. et al. Prediction of thermosets flammability using a model based on group contributions. **Polymer (United Kingdom)**, v. 127, p. 203–213, 2017.
- 8 SATHAWONG, S.; SRIDACH, W.; TECHATO, K. Lignin: Isolation and preparing the lignin based hydrogel. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 6, n. 5, p. 5879–5888, 2018.
- 9 JIAO, L. Y.; WU, Z. J. Alkali Lignin as a Carbonization Agent on the Thermal Degradation and Flame Retardancy of Intumescent Flame Retardant Coating. **Advanced Materials Research**, v. 750–752, p. 1385–1388, 2013.
- 10 SÁ, S. C. de; SOUZA, M. M. de; PERES, R. S.; ZMOZINSKI, A. V.; SILVEIRA, M. R. da S.; FERREIRA, C. A. Avaliação do efeito de um ambiente agressivo no fenômeno

- de intumescência em tintas intumescentes formuladas com compostos vegetais. In: 22 CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, Natal, RN, 2016. Anais...: 22º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais/CBECiMat - Rio Grande do Norte, Natal, 2016, p. 8899-8910. Ref. 406-021. Disponível em: <http://www.metallum.com.br/22cbecimat/anais/PDF/406-021.pdf>. Acesso em: 26 de julho de 2018.
- 11 DE SÁ, S. C. et al. Environmentally friendly intumescent coatings formulated with vegetable compounds. **Progress in Organic Coatings**, v. 113, n. August, p. 47–59, 2017.

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NO PROCESSAMENTO E NAS PROPRIEDADES DE LÂMINAS À BASE DE PROTEÍNA PLASTIFICADA.

Tessaro de Moraes, C.¹
Cofferi, P.²
Monticelli, B.³
Santana, R.M.C.⁴

¹ Mestranda, Charon Tessaro de Moraes, UFRGS, charon.tessaro@gmail.com.

² Mestranda, Patrícia Cofferi, UFRGS, pcofferi@gmail.com.

³ Graduanda, Bruna Monticelli, UFRGS, bruna.monticelli@yahoo.com

⁴ Prof. Dr^a, Ruth Marlene Campomanes Santana, UFRGS, ruth.santana@ufrgs.br.

Resumo

A alta demanda de embalagens provenientes de polímeros sintéticos vem se tornando um grande problema e a produção de filmes biodegradáveis à base de proteína de soja, é uma alternativa promissora. Porém, produtos fabricados apenas com essa matéria-prima não possuem propriedades muito satisfatórias, necessitando da incorporação de aditivos à matriz polimérica. Nesse sentido, este trabalho tem o objetivo de estudar a produção de lâminas a partir de proteínas de soja isolada (PSI) e concentrada (PSC), na presença de glicerol como agente plastificante, assim como a influência da temperatura no processamento das misturas. Em uma primeira etapa, com auxílio de câmara de misturas do tipo Haake, foi feita a plastificação das proteínas, com glicerol, nas temperaturas de processamento: 150°C e temperatura ambiente. Após, foram obtidas lâminas, com auxílio de prensa hidráulica, para posterior caracterização através de análises reológicas e térmicas. Resultados da análise reológica mostraram que, para ambas as proteínas, as amostras, processadas a temperatura ambiente apresentaram valores de energia e torque de mistura superiores àquelas processadas a 150°C, sendo estes maiores para as amostras contendo PSI. Não houve variação significativa nas temperaturas de degradação térmica entre as amostras contendo somente proteína, porém um deslocamento para temperaturas de degradação inferiores pôde ser verificado quando adicionado o plastificante, sendo este efeito mais pronunciado em processos realizados à temperaturas mais altas quando o intervalo de temperatura de degradação foi de 40-150°C, em um intervalo de 150-800°C este efeito foi mais pronunciado para processos realizados a temperatura ambiente.

Palavras-chave: proteína de soja, processamento, plastificante, biopolímeros.

INFLUENCE OF TEMPERATURE IN PROCESSING AND PROPERTIES OF BLADES BASED ON PLASTIFIED PROTEIN.

Abstract

The environmental impact caused by the high demand for synthetic polymers packages has become a major problem and the production of biodegradable films based on soy protein is a promising alternative. However, products made only with this raw material do not present satisfactory properties, and incorporation of additives

in the polymer matrix becomes needed. In this sense, this work has the aim of studying the production of slides from soybean proteins isolated (PSI) and concentrated (PSC), in the presence of glycerol as plasticizing agent, as well as the influence of temperature on processing of the mixtures. In a first step, with the aid of a Haake type mixing chamber, the proteins were plasticized with glycerol at two processing temperatures: 150°C and room temperature. Afterwards, slides were obtained, by hydraulic pressing, for later characterization through rheological and thermal analyzes. Rheology analysis results showed that, for both types of proteins, processes at room temperature presented higher values of mixing energy than those carried out at 150°C, with superior values for PSI samples. No significant variation in the thermal degradation temperatures was shown between samples containing only protein. However, a drop in degradation temperature was observed with the ad of the plasticizer, been more pronounced for processes at higher temperatures when the temperature range of degradation was 40-150°C, when the temperature range of 150-800°C this effect was more pronounced for processes performed at room temperature.

Key words: soy protein, processing, plasticizer, biopolymers.

1 INTRODUÇÃO

A embalagem se tornou nas últimas décadas uma necessidade indispensável no cotidiano da população, uma vez que quase todos os bens de consumo expostos no mercado são envoltos e protegidos por algum tipo diferente de embalagem. Existem diversos materiais que podem ser utilizados na confecção de embalagens, no entanto os termoplásticos têm ocupado um enorme espaço nesse setor devido às propriedades como facilidade de processamento, transparência e versatilidade.¹ Porém, fatores como alta demanda, difícil decomposição e reciclagem destes materiais, estão causando um grande impacto ambiental.

O atual consumo global de plásticos é de mais de 200 milhões de toneladas, com um crescimento anual de aproximadamente 5%, sendo que a maior parte é empregada no setor de embalagens e estima-se que apenas 5% desse valor sejam reciclados. Diante disto, muitos estudos vêm sendo feitos para desenvolver materiais mais ecológicos e que consigam competir em propriedades com os materiais derivados de fontes fósseis.^{2,3,4}

Uma alternativa para este problema tem sido a utilização de matérias-primas de fonte natural ou renovável, como é o caso dos biopolímeros, que como o nome sugere, são polímeros biologicamente derivados ou biomoléculas de cadeia longa, como amido, celulose, proteínas, etc., que são naturalmente decompostos.¹

Existem tipicamente dois tipos de proteínas empregadas para a síntese de materiais de embalagem: proteína derivada de fontes animais (caseína, colágeno, soro de leite, etc.) e proteína derivada de plantas (glúten, zeína, soja, etc). [Biodegradable, 2018] Elas são formadas por aminoácidos que são compostos altamente desejáveis para modificar as características requeridas dos materiais de embalagem, devido à presença de uma cadeia lateral única em sua estrutura, a figura 1 mostra um exemplo de ligação peptídica existente na formação da molécula de proteína. As cadeias polipeptídicas estão associadas e emaranhadas em uma estrutura tridimensional complicada por pontes dissulfeto e hidrogênio com um peso molecular variando de 300.000 a 600.000 Da.

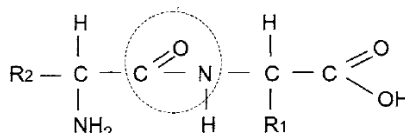


Figura 1. Esquema da formação de uma molécula de aminoácido, estrutura preponderante nas proteínas.

As proteínas podem ser modificadas por métodos físicos, químicos e enzimáticos. A modificação resulta em alterações estruturais ou conformacionais da estrutura nativa sem alteração da sequência de aminoácidos. Modificações que alteram a estrutura secundária, terciária ou quaternária de uma molécula de proteína são referidas como modificações de desnaturação. A estrutura proteica compacta torna-se desdobrada durante a desnaturação, que é acompanhada pela quebra e reforma das interações intermoleculares e intramoleculares. Os métodos de modificação física envolvem principalmente tratamentos com calor e pressão. O calor fornece à proteína energia térmica suficiente para interromper as interações hidrofóbicas e desassociar as subunidades. A desassociação e desdobramento expõem os grupos hidrofóbicos anteriormente contidos na área de contato entre as subunidades ou no interior das moléculas dobradas, permitindo que haja uma maior interação destas com outros materiais. ⁵

Muitas propriedades do polímero, especialmente propriedades mecânicas e reológicas, estão relacionadas, em particular, à sua temperatura de transição de fase, bem como às suas condições de processamento. Proteínas de soja com diferentes tratamentos químicos ou diferentes níveis de plastificantes apresentam diferentes comportamentos de transição de fase e, conseqüentemente, diferentes condições ótimas de processamento, que devem ser utilizadas para produzir produtos de melhor qualidade. ⁶

De uma forma geral elas possuem excelentes propriedades de barreira a gases e a proteína de soja ainda se destaca devido a sua alta capacidade de formar filmes transparentes, flexíveis e macios. Esta ainda pode ser dividida em albuminas solúveis em água e globulinas solúveis em solução salina. A maioria das proteínas de soja são globulinas, contendo cerca de 25% de aminoácidos ácidos, 20% de aminoácidos básicos e 20% de aminoácidos hidrofóbicos. ⁶ Está comercialmente disponível em três formas: farinha de soja (FS, 54% de proteína), proteína concentrada de soja (PSC, 65-72% de proteína) e proteína isolada de soja (PSI, ≥90% de proteína). ⁷

No entanto, o uso deste biopolímero ainda é bastante limitado devido as suas baixas propriedades mecânicas, alta sensibilidade à água e difícil processamento, tornando necessário o uso de aditivos ^{8,9}

Para melhorar a propriedade de processamento da proteína de soja (PS), bem como para superar a fragilidade dos filmes puros de PS, são adicionados plastificantes à matriz proteica, pois estes possuem tanto a capacidade de reduzir a ligação interna de hidrogênio entre as cadeias de proteínas quanto a de aumentar o espaçamento molecular destas. Os plastificantes mais utilizados são aqueles que possuem estrutura semelhante a da matriz proteica, neste caso, compostos contendo grupos hidroxila, como água e álcoois. Neste caso, o plastificante mais utilizado é o Glicerol (Gli) por causa do seu tamanho pequeno e natureza hidrofílica, o que o torna compatível com moléculas de PS. ^{9,10,11,12}

Pensando nisso, este estudo visa estudar as diferenças na produção de lâminas a partir das proteínas de soja, isolada (PSI) e concentrada (PSC), na

presença de glicerol como agente plastificante, assim como, a influência da temperatura no processamento das misturas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 MATERIAIS

Para a preparação das formulações foram utilizadas dois tipos de proteína de soja, isolada e concentrada, gentilmente fornecidas pelo ©Grupo Bremil, e agente plastificante glicerol, Dinâmica LTDA®.

2.2 PROCESSAMENTO

O estudo foi desenvolvido em etapas, conforme figura 2, sendo que na primeira foram elaboradas formulações a base de PSI e Gli e PSC e Gli com proporções mássicas de PSI/Gli e PSC/Gli de 50/50%. O processo de mistura ocorreu em câmara de misturas do tipo Haake com velocidade de rotação dos rotores de 60rpm, por um tempo de mistura de quatro minutos e sob duas condições de temperatura: ambiente (antes de adicionadas na câmara, as misturas foram secas em estufa por 24horas a 60°C) e a 150°C onde as misturas foram adicionadas ainda úmidas na câmara.

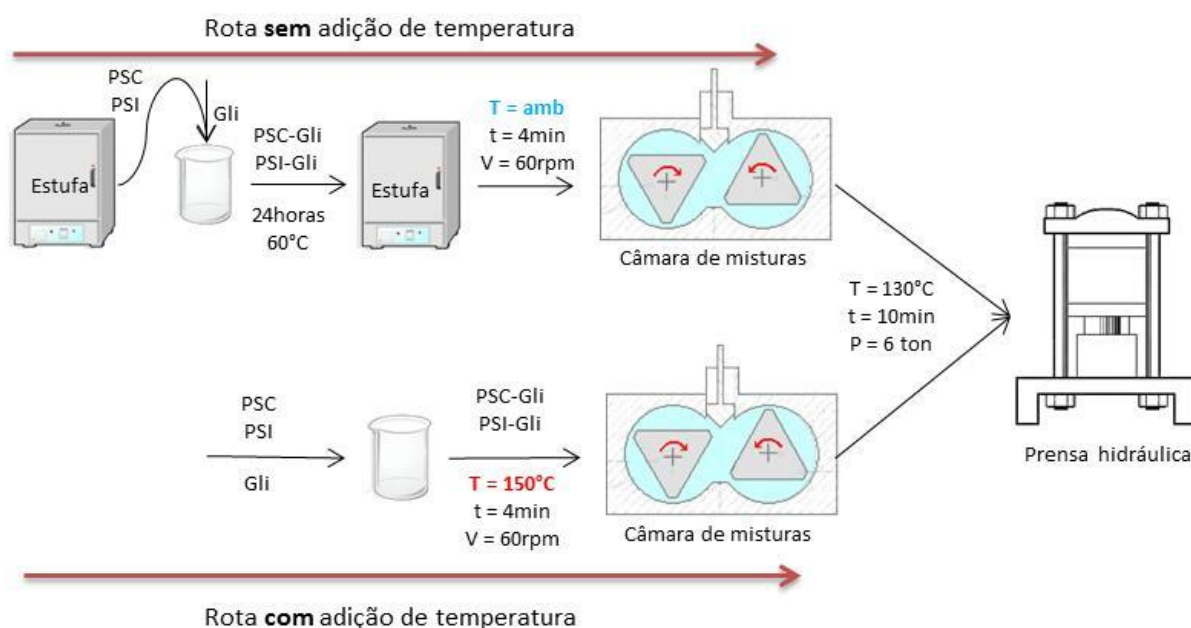


Figura 2. Esquema do processamento das misturas.

2.3 CARACTERIZAÇÃO

Durante o processamento foram avaliadas as propriedades reológicas dos novos materiais através dos dados de torque *versus* tempo, obtidos no software do equipamento.

Depois de homogeneizadas as formulações foram submetidas à compressão térmica em prensa hidráulica a temperatura de 130°C, pressão de 6 toneladas e tempo total de 10 minutos, para obtenção de lâminas, das quais foram retirados corpos-de-prova (CP) para a caracterização das formulações através do ensaio de

análise Termogravimetria (TGA). A análise foi realizada em termobalança TA Instruments Q50 com rampa de aquecimento de 20°C/min e intervalo de 40-820°C em atmosfera de Nitrogênio.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 PROPRIEDADES REOLÓGICAS

A fim de analisar as propriedades reológicas dos materiais produzidos, foi feito um acompanhamento, da elevação do torque em relação ao tempo de mistura, com auxílio do software do equipamento. Os dados obtidos foram plotados na forma de gráfico para facilitar a avaliação e este pode ser observado na figura 3 abaixo.

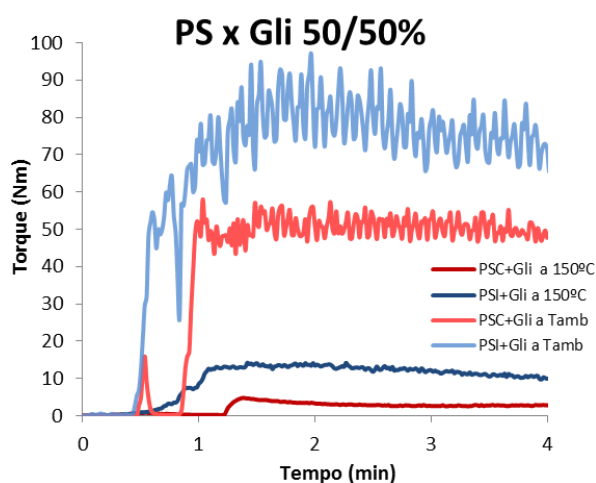


Figura 3. Curvas de torque versus tempo para as amostras estudadas com proporção de 50%.

O resultado da análise mostra diferenças bastante relevantes quando comparados diferentes métodos de processamento para ambas as proteínas. Os valores de torque foram bem mais expressivos quando o processo ocorreu à temperatura ambiente do que a 150°C. Quando a comparação é feita entre as proteínas, é possível observar um desempenho melhor das misturas contendo PSI em relação às misturas contendo PSC.

Como visto anteriormente, a ação do calor causa desnaturação da proteína, favorecendo a interação entre a proteína e outros materiais, neste caso o plastificante, e isso faz com que haja uma mobilidade maior das cadeias, ou seja, menor resistência ao deslocamento, que está de acordo com o observado. ^{6,9,10,11,12}

3.2 PROPRIEDADES TÉRMICAS

As lâminas produzidas foram submetidas à análise termogravimétrica para avaliação das propriedades térmicas (temperaturas de degradação e propriedades de barreira). O resultado da análise foi exposto na forma de curvas de perda de massa versus temperatura e derivada da perda de massa versus temperatura e estas podem ser observadas nas figuras 4 e 5, assim como os dados de temperatura inicial e final de degradação, e percentual inicial e final de perda de massa podem ser observados na tabela 1.

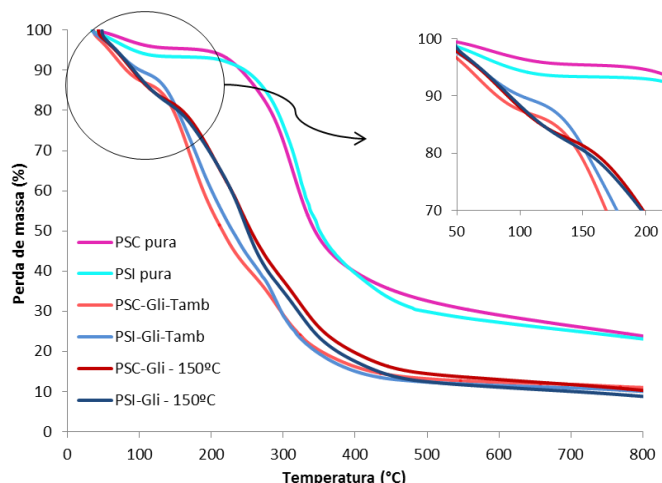


Figura 4. Curvas da perda de massa *versus* temperatura das amostras analisadas com destaque para a região inicial de perda de massa.

Com base nos dados obtidos é possível constatar que a plastificação da proteína, com ou sem adição de calor, faz com que haja uma queda na estabilidade térmica do material quando se faz uma comparação com as amostras puras. Porém esta queda se mostrou mais acentuada, ou seja, houve um deslocamento dos picos das curvas de DTG (Figura 5) para temperaturas ainda mais baixas, quando as amostras foram processadas sem adição de calor.

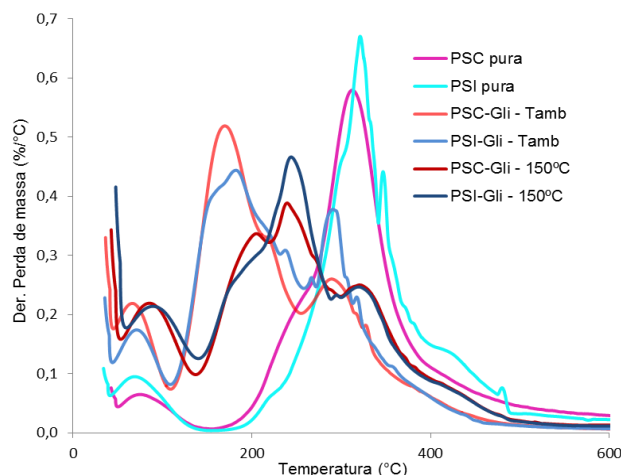


Figura 5. Curvas da derivada de perda de massa *versus* temperatura das amostras analisadas.

Tabela 1. Dados obtidos através da análise termogravimétrica.

Amostras	TGA						DTG			
	T15% (°C)	m1 %	m2 %	m3 %	m4 %	Cinzas %	Tp1 (°C)	Tp2 (°C)	Tp3 (°C)	Tp4 (°C)
PSC pura	265	4,6	71,6	-	-	23,8	76	312	-	-
PSI pura	275	6,5	35,7	34,7	-	23,1	69	321	347	-
PSC-Gli Tamb	127	12,0	38,5	39,1	-	10,4	66	170	289	-
PSI-Gli Tamb	138	9,2	38,3	43,3	-	9,2	71	182	291	-
PSC-Gli T150	117	15,1	20,0	17,8	36,9	10,2	85	205	240	320
PSI-Gli T150	117	16,0	41,2	34	-	8,8	90	244	320	-

Este efeito reforça o fato de que o calor promove uma modificação física na estrutura proteica, ocorrendo a sua desnaturação e permitindo a entrada de moléculas do plastificante entre as suas cadeias. Essa melhor interação confere um ganho na estabilidade térmica, comparadas às amostras processadas a temperatura ambiente, onde certamente não houve uma boa interação do glicerol com a matriz. ⁵

4 CONCLUSÃO

Com base no estudo realizado, é possível concluir que mudanças nas condições de processamento interferem diretamente no comportamento reológico e nas propriedades térmicas dos materiais. O efeito da temperatura no processo de mistura foi claramente evidenciado através das análises reológicas e térmicas, onde a temperatura ambiente houve maior interação matriz/plastificante e conseqüentemente, maior mobilidade das cadeias durante o processamento e maior estabilidade térmica até 170°C.

Agradecimentos

À UFRGS pelo auxílio concedido;
À CAPES pela bolsa concedida;
À SIBRATEC pelo patrocínio concedido ao LAPOL;
Ao Instituto Federal Sul-Rio-grandense pelo auxílio nos ensaio mecânicos (infraestrutura);
Às empresas SGS e BREMIL pelo fornecimento das matérias-primas.

REFERÊNCIAS

1. MAJID, I.; THAKUR, M.; NANDA, V. Biodegradable Packaging Materials. **Reference Module in Materials Science and Materials Engineering**.
2. SIRACUSA, V. et al. Biodegradable polymers for food packaging: a review. **Food Science e Technology** , v. 19, p. 634-643, 2008.
3. BRIASSOULIS, D.; GIANNOULIS, A. Evaluation of the functionality of bio-based food packaging films.. **Elsevier Polymer Testing**, v. 69, p. 39-51., 2018.
4. ESPITIA, P. J. P. . D. W. . A.-B. R. . D. J. . S. N. . D. F. F. . E. A. Edible films from pectin: physical-mechanical and antimicrobial properties: a review. **Food Hydrocoll.**, v. 35, p. 287–296, 2014.
5. SUN, X. S. Bio-Based Polymers and Composites. **Elsevier Science & Technology Books.** , p. cap 1, 1-12, 2005.
6. SUN, X. S. Bio-Based Polymers and Composites. **Elsevier Science & Technology Books.** , p. cap 9, 292-323.
7. BOŽIČ, M. E. A. Mechanical and barrier properties of soy protein isolate films plasticized with a mixture of glycerol and dendritic polyglycerol. **Journal of Applied Polymer Science**, 2015.

8. RHIM, J.-W. E. A. Preparation and Properties of Biodegradable Multilayer Films Based on Soy Protein Isolate and Poly (lactide)., p. 3059–3066, 2006.
9. SONG, F. . T. D. . W. X. E. W. Y. Biodegradable soy protein isolate-based materials: A review. **Biomacromolecules**, 2011.
10. KOKOSZKA, S. E. A. Protein and glycerol contents affect physico-chemical properties of soy protein isolate-based edible films. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 11, n. 3, p. 503–510, 2010.
11. WANG, S. . S. H. J. . E. J. J. Effects of Polyhydric Alcohols on the Mechanical Properties of Soy Protein Plastics. **J. Micromol. Sci. Pure Appl. Chem.** , v. A33:, p. 557–569, 1996.
12. GUILBERT, S. E. C. B. **Handbook of Biodegradable Polymers**. Shawbury, Shrewsbury, Shropshire, SY4 4NR: UK Rapra Technology Limited., 2005.

INFLUÊNCIA DO USO DE ADITIVO MODIFICADOR DE IMPACTO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO COPOLÍMERO RANDÔMICO DE POLIPROPILENO

Pereira, J. R. D.¹
Calcagno, C. I. W.²
Santana, R.M.C.^{3*}

- ¹ Mestrando, Jesus Rogério Damé Pereira, UFRGS, PPGEM, InBeta, jrogeriodpereira@yahoo.com.br
- ² Doutora, Carmen Iara Walter Calcagno, IFSul, Campus Sapucaia do Sul, carmencalcagno@sapucaia.ifsul.edu.br
- ³ Doutora, Ruth Marlene Campomanes Santana, UFRGS, ruth.santana@ufrgs.br

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

Resumo

O copolímero randômico de polipropileno é um polímero amplamente utilizado na injeção peças de utilidades domésticas, indicado para injeção de peças que necessitem de ótima transparência e bom balanço de rigidez/impacto. A resistência ao impacto é uma das propriedades mecânicas mais críticas, em aplicações que demanda esse tipo de esforço; para melhorar essa propriedade, geralmente são adicionados elastômeros em mistura física que resolve o problema da fragilidade ao impacto, porém prejudica a transparência das peças moldadas. Nesse sentido, esse trabalho tem como objetivo analisar a influência da adição de um polímero semicristalino na resistência ao impacto do copolímero randômico de polipropileno. O aditivo usado foi o polipropileno copolímero com alto teor em etileno. O estudo analisou as propriedades mecânicas de quatro grupos de amostras com diferentes percentuais de aditivo, que variam de 1% a 10% e comparou os resultados com as propriedades das amostras sem o aditivo. As amostras foram injetadas e suas propriedades mecânicas foram avaliadas por ensaios de tração e de resistência ao impacto. Foi observada uma redução que variou de 8% a, no máximo, 23% no módulo de Young entre as amostras ensaiadas. Houve uma redução de aproximadamente 20% na resistência a tração no escoamento entre as amostras sem o aditivo e as amostras com o maior percentual de aditivo. Mediante análise visual de todas as amostras percebeu-se que não houve uma mudança significativa na transparência entre elas. Os resultados demonstram que o uso do aditivo melhorou a resistência ao impacto sem prejudicar a transparência nas amostras estudadas.

Palavras-chave: Polipropileno copolímero; resistência ao impacto; transparência

INFLUENCE OF THE USE OF IMPACT MODIFIER ADDITIVE IN THE MECHANICAL PROPERTIES OF POLYPROPYLENE COPOLYMER RANDOM

Abstract

The polypropylene random copolymer is a polymer widely used in injection parts

and household appliances, suitable for injection of parts that require excellent transparency and good stiffness/impact balance. Impact resistance is one of the most critical mechanical properties in applications requiring this type of effort; to improve this property, elastomers are usually added in a physical mixture that solves the problem of fragility to impact, but impairs the transparency of the molded parts. In this sense, this work aims to analyze the influence of the addition of a semicrystalline polymer on the impact resistance of the polypropylene random copolymer. The additive used was polypropylene copolymer with high ethylene content. The study analyzed the mechanical properties of four groups of samples with different percentages of additive ranging from 1% to 10% and compared the results with the properties of the samples without the additive. The samples were injected and their mechanical properties were evaluated by tensile and impact strength tests. A reduction ranging from 8% to at most 23% in the Young's modulus was observed between the samples tested. There was approximately a 20% reduction in tensile strength in the flow between the samples without the additive and the samples with the highest percentage of additive. By visual analysis of all the samples it was noticed that there was no significant change in the transparency between them. The results demonstrate that the use of the additive improved the impact resistance without damaging the transparency in the studied samples.

Key words: copolymer polypropylene; impact resistance; transparency

1 INTRODUÇÃO

O copolímero randômico de polipropileno é um polímero amplamente utilizado na injeção de peças para utilidades domésticas, indicado para injeção de peças que necessitem de ótima transparência com balanço de rigidez/impacto ^[1].

A resistência ao impacto é uma das propriedades mecânicas mais críticas, em aplicações que demanda esse tipo de esforço. O alto custo atribuído a P&D na síntese de novos polímeros e a diversidade de materiais que podem ser obtidos por meio de blendas poliméricas tem estimulado pesquisadores do meio acadêmico a desenvolver suas pesquisas nessa área ^[2]. Para melhorar essa propriedade no PP randômico, geralmente são adicionados elastômeros em mistura física que resolve o problema da fragilidade ao impacto, porém prejudica a transparência e o módulo de Young das peças moldadas ^[3].

Estudos apontam o uso de vários tipos de materiais elastoméricos sendo usados como tenacificantes do polipropileno, sendo eles, SEBS (Estireno-Etileno- Butileno-Estireno), SBS (copolímeros em bloco de Estireno-Butadieno-Estireno), EVA (Copolímero de Etileno e Acetato de Vinila), EPDM (Borracha de Etileno- Propileno-Dieno), TPE (Elastômero Termoplástico) e SBR (Borracha de Estireno Butadieno) ^[2-12]. Em geral as proporções usadas para tenacificar o PP variam entre 5% a 30% em massa. Silva et al ^[5], em seu estudo com aplicação de 5% de SBS e de SEBS no PPr, não observou ganhos de resistência ao impacto das amostras, já com a adição de 30% de SBS ou de SEBS as amostras ensaiadas não apresentaram ruptura. Abreu 2004 ^[8] em seu estudo de PPr com blendas de TPE, não observou ganhos de resistência ao impacto com a adição de 5% de TPE, ao passo que com a adição de 10% de TPE observou-se um

aumento de 46% na resistência ao impacto.

Outro material usado como agente tenacificante para o PP é o polipropileno copolímero com alto teor em etileno, indicado para aplicações onde requer melhorias na resistência ao impacto e na tenacidade, sem prejudicar as propriedades óticas do PP [13-14]. Nesse contexto, o presente estudo busca avaliar o efeito da adição de diferentes teores de polipropileno copolímero com alto teor em etileno nas propriedades mecânicas e na tenacidade do copolímero randômico de polipropileno, por meio de ensaios mecânicos em corpos de provas obtidos pelo processo de injeção.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Materiais:

O polipropileno (PPr) usado como matriz no experimento foi o copolímero randômico de polipropileno (Braskem, IF 87 g/10 min). O agente tenacificante (AGt) usado neste estudo foi o polipropileno copolímero com alto teor em etileno (ExxonMobil, IF 20 g/10 min). Os dois materiais são produtos comerciais disponibilizados em formato de grânulos, apresentando dimensões e formatos semelhantes, que propiciam uma boa homogeneidade na mistura física.

Preparação das misturas e corpos de prova:

Para composição das blendas realizou-se a mistura física de PPr/AGt nas proporções mássicas de: 100/0 (amostra 0), 99/1 (amostra 1), 97/3 (amostra 3), 95/5 (amostra 5) e 90/10 (amostra 10). As misturas foram realizadas em misturador vertical para plásticos à 80 rpm durante 2 minutos. Os corpos de prova foram injetados em um molde de injeção de duas cavidades, com canal frio, ponto de injeção nas extremidades e cavidade com formato padrão do tipo I conforme ASTM D 638. A máquina usada foi uma injetora Arburg modelo 420 C com 100 toneladas de capacidade de fechamento, rosca universal de 40 mm e capacidade de injeção de 166g de PS. Os principais parâmetros de processo podem ser observados da Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros de processo – injeção dos corpos de prova

Parâmetro de processo	Especificação
Temperaturas de processamento	245°C(bico); 230°C; 240°C; 240°C; 210°C
Volume de dosagem	39,0 ccm ^[1]
Tempo de resfriamento	20 segundos
Tempo de injeção	0,58 segundos
Velocidades de injeção	V1 = 50,0 ccm/s ^[2] ; V2 = 35,0 ccm/s ^[2]
Pressões de injeção	P1 = 650 bar; P2 = 90 bar
Tempo de recalque	8,1 segundos
Pressão de recalque	25 bar
Tempo de ciclo	35,01 segundos
Temperatura de arrefecimento	9° C ^[3]
Temperatura das cavidades	Cav. fêmea = 18° C; Cav. Macho = 19°C

Nota: [1] Unidade de medição para volume de material indicada no painel da máquina injetora Arburg 420C

[2] Unidade de medição para velocidade de injeção indicada no painel da máquina injetora Arburg 420C

[3] Temperatura ambiente proveniente da água de torre de resfriamento

Caracterização:

Foi realizado ensaio de impacto IZOD teste método E com entalhe, de acordo com a ASTM D256 – 04, sendo que para as amostras 0, 1, 3 e 5, foi usado o martelo de 10,8J e para a amostra 10 foi usado o martelo de 21,6J. No ensaio de impacto foram analisados 28 corpos de prova para cada tipo de amostra e foram excluídos os dados daqueles corpos de prova que não romperam no ensaio. A resistência ao impacto foi calculada de acordo com a ASTM D256 – 04. Cada conjunto de resultados foi analisado quanto à magnitude do desvio padrão e aplicou-se o método de eliminação dos extremos até obter desvios padrões inferiores a 10%.

O ensaio de tração uniaxial foi realizado na máquina de ensaios universal INSTRON 3367, de acordo com a ASTM D 638, usado célula de carga de 30KN com velocidade de afastamento das garras de 100 mm/min. Nesse ensaio foram avaliadas as propriedades: módulo de Young, resistência máxima na ruptura, tensão no escoamento, alongamento percentual e o comportamento das amostras no gráfico de tensão x deformação. A tenacidade foi estimada por meio do cálculo da área total sob a curva tensão x deformação, com auxílio do programa MatLab. No ensaio de tração foram analisados 16 corpos de prova para cada tipo de amostra. Cada conjunto de resultados foi analisado quanto à magnitude do desvio padrão e aplicou-se o método de eliminação dos extremos com base nos dados de alongamento na ruptura, até obter desvios padrões inferiores a 10%.

Calcularam-se médias e desvios padrões para todos os conjuntos de amostras selecionados. Foi realizada uma comparação dos resultados das propriedades entre os conjuntos estudados, por meio da análise de variância com nível de confiança de 95%. Os resultados obtidos na análise de variância foram representados nos gráficos, por meio de letras minúsculas, indicando se houve ou não, diferença significativa entre os resultados analisados. Amostras com a mesma letra indicam que não possuem diferença significativa no resultado, já amostras com letras diferentes indicam que há diferença significativa entre os resultados apresentados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesse estudo, foram preparadas blendas de copolímero randômico de polipropileno com a adição de diferentes percentuais de polipropileno copolímero de alto teor em etileno, com o objetivo de analisar a influência do teor de aditivo nas propriedades mecânicas e de tenacidade das amostras.

A Figura 1 apresenta os resultados do módulo de Young obtidos nos cinco conjuntos de amostras ensaiadas.

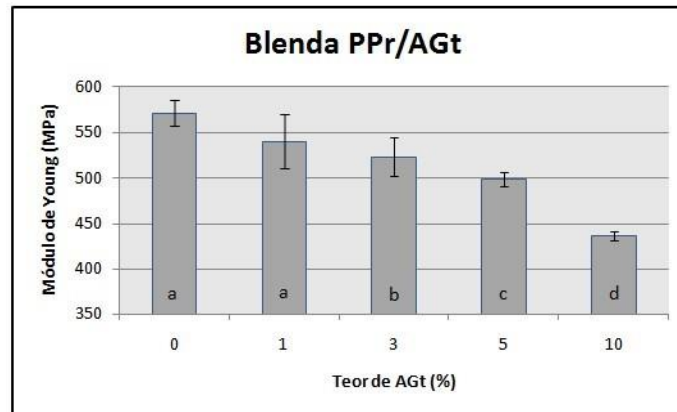


Figura 1 – Resultados do módulo de Young, obtidos no ensaio de tração das amostras avaliadas

Nota: Amostras com a mesma letra indicam que não houve diferença significativa na propriedade entre as amostras. Amostras com letras diferentes representam que houve diferença significativa nos resultados.

A variação significativa no módulo de Young foi observada a partir da adição de 3% de AGt, onde ocorre uma redução de 8% no valor médio do módulo. Com adição de maiores percentuais de AGt o módulo continua diminuindo, sendo que a queda máxima de 23% no módulo de Young foi observada na amostra com 10% em concentração de AGt. Resultado semelhante foi observado por Hanamoto et al [6], onde avaliaram a tenacificação do polipropileno randômico com uso de 10% de EPDM, onde foi observado uma queda de 21% no módulo. Grein et al [12], também estudaram a tenacificação do polipropileno randômico com uso de 20% de SEBS e observaram uma queda de 27% no módulo. O AGt reduziu o módulo de Young do PPr, sendo que houve uma redução crescente no módulo das amostras com adição de aditivo a partir de 3%.

A Figura 2 apresenta as curvas tensão x deformação que melhor representaram as médias dos conjuntos de amostras testadas no ensaio de tração.

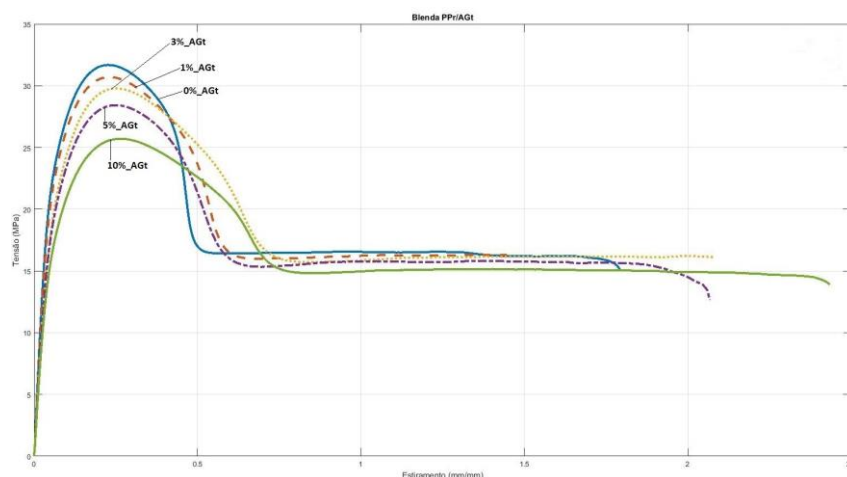


Figura 2 – Curvas de tensão x deformação das amostras avaliadas

Nas amostras sem o uso do AGt observou-se o valor de resistência a ruptura superior às demais amostras em que o aditivo foi usado, porém o incremento de AGt em percentuais maiores do que 1% não provoca alterações significativas nessa propriedade. O menor valor de alongamento foi observado nas amostras com 1% de AGt, e nas amostras com 10% de AGt observou-se o maior alongamento percentual de todas as amostras

ensaiadas. O uso do AGt com teores partir de 3% promove um aumento significativo no alongamento percentual.

A Figura 3 apresenta os resultados de resistência máxima para os cinco conjuntos de amostras ensaiadas. A resistência à tração máxima foi observada no escoamento.

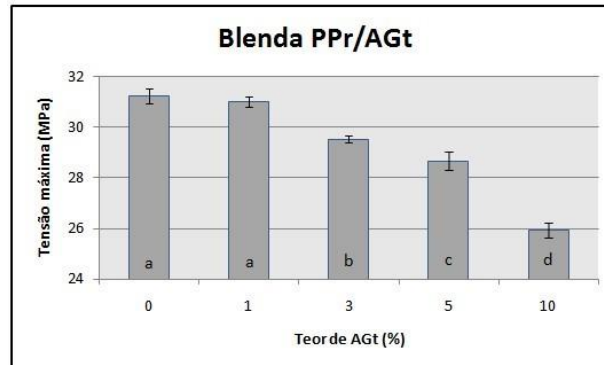


Figura 3 - Resultados de resistência máxima à tração, das amostras ensaiadas

O uso de 1% de AGt não promoveu mudanças significativas nos valores de resistência à tração, ao passo que com adição de 3% de AGt ocorreu uma diminuição de aproximadamente 5% nos valores dessa propriedade. Nas demais amostras sempre foi observado a diminuição da resistência à tração com o aumento de concentração do AGt, atingindo 20% quando o teor de AGt foi de 10%. Oliveira et al. [4], avaliaram a influência da adição de 10% de SEBS no polipropileno homopolímero e observaram uma redução de 17% dessa mesma propriedade, algo muito semelhante ao resultado obtido com 10% de AGt. Abreu et al., 2004 [8], avaliaram a adição de 10% de SBS obteve uma redução de 23% nos valores de limite de resistência à tração, sendo que esses resultados são similares ao do presente estudo. Maiores percentuais de SBS diminuíram ainda mais esses valores, sendo que com a adição de 30% de SBS a redução foi de aproximadamente 40%.

A Figura 4 apresenta os resultados de tensão na ruptura para os cinco conjuntos de amostras ensaiadas.

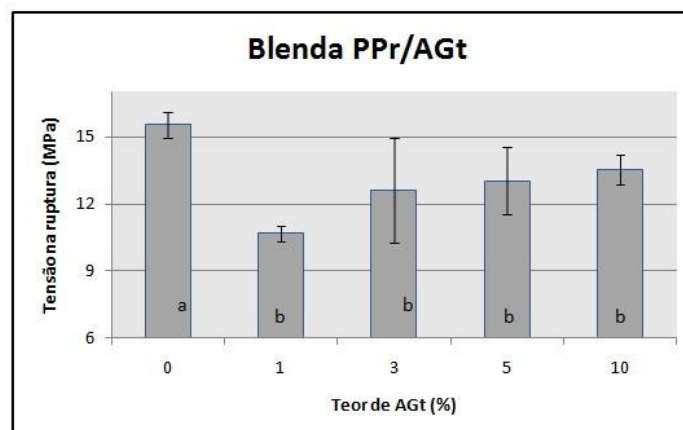


Figura 4 - Resultados de tensão na ruptura obtida no ensaio de tração

As amostras sem o uso do AGt apresentam valor de resistência a ruptura superior as demais amostras em que o aditivo foi usado. O uso de 1% em AGt provoca uma diminuição da resistência à ruptura em 16%,

porém o incremento de aditivo em maiores percentuais não provoca alterações significativas nessa propriedade. Resultados semelhantes foram observados por Hanamoto et al [6], onde com a adição de 20% de EPDM no PPr verificou-se a queda de 23% no valor de resistência à ruptura, já com a adição de 30% do mesmo aditivo não foi observado alteração nessa propriedade. Uma queda de 10% na resistência a ruptura foi observada na pesquisa de Abreu et al [8] com a adição de 10% de SEBS ao PPr, a adição de maiores percentuais de aditivo não apresentaram diferença significativa dessa propriedade. Dessa forma, é possível observar que a quantidade de AGt não interfere nos resultados de resistência à ruptura nas amostras ensaiadas.

A Figura 5 apresenta os resultados de alongamento % para os cinco conjuntos de amostras ensaiadas.

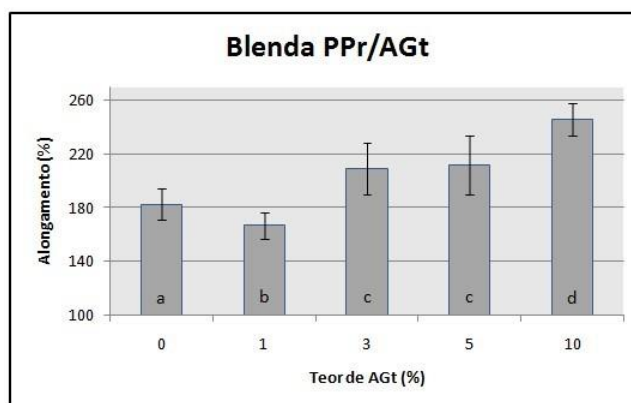


Figura 5 – Resultados de alongamento % obtidos no ensaio de tração

O uso de 3% e 5% de AGt provoca um acréscimo semelhante ao alongamento percentual. Com o uso de 10% de AGt observou-se 246% de alongamento na ruptura, sendo este 34% maior quando comparado com as amostras sem AGt. Oliveira et al [4], estudaram a adição de 10% de SEBS no PPr, e verificaram um aumento de 40% no valor do alongamento percentual, esse valor está próximo dos 35% do aumento obtido no presente estudo. Liu et al [11], observaram um alongamento na ruptura superior a 200% em seu estudo com a adição de 10% de PAE (elastômero de poliamida) no PPr, já com a adição de 20% de PAE, o alongamento percentual excedeu os 300%.

A Figura 6 apresenta os resultados de tenacidade para os cinco conjuntos de amostras ensaiadas.

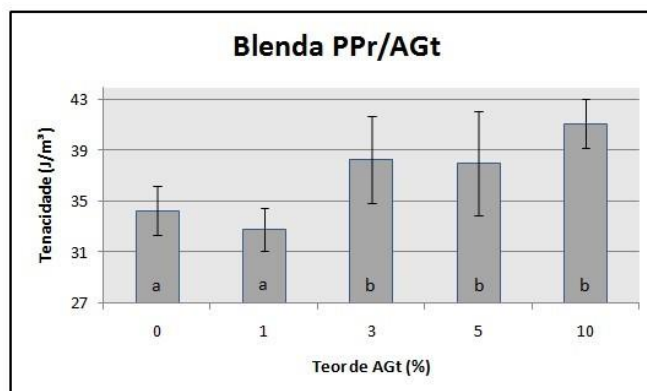


Figura 6 – Resultados de tenacidade das amostras avaliadas

A adição de 1% de AGt não foi suficiente para obter ganhos em tenacidade. A partir de 3% de AGt observa-se um acréscimo de 17% em tenacidade, sendo que esse valor não muda com a adição de maiores percentuais de AGt.

A Figura 7 apresenta os resultados de resistência ao impacto para os cinco conjuntos de amostras ensaiadas.

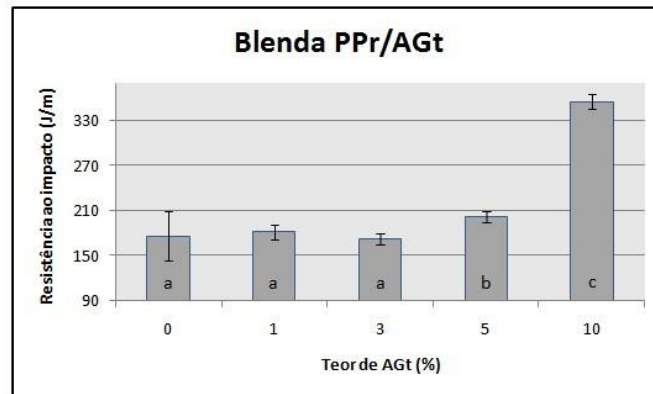


Figura 7 – Resultados de resistência ao impacto das amostras avaliadas

A adição de 1% e 3% de AGt não apresenta influencia na resistência ao impacto das amostras ensaiadas. A adição de 5% proporciona um aumento de 12% na resistência ao impacto. Silva et al [5], estudaram a incorporação de 5% de SBS no PPr, e não observaram ganhos de resistência ao impacto das amostras, o mesmo ocorreu com a adição de 5% do aditivo SEBS. O melhor resultado é observado com a adição de 10% de AGt, onde no ensaio de impacto as amostras não romperam e a resistência ao impacto obtida foi o dobro quando comparado às amostras sem AGt. Abreu et 2004 [8] em seu estudo de PPr com blendas de TPE, com a adição de 10% de TPE observou um aumento de 46% na resistência ao impacto.

A Figura 8 apresenta uma comparação visual da transparência entre as amostras injetadas com cinco diferentes teores de AGt.

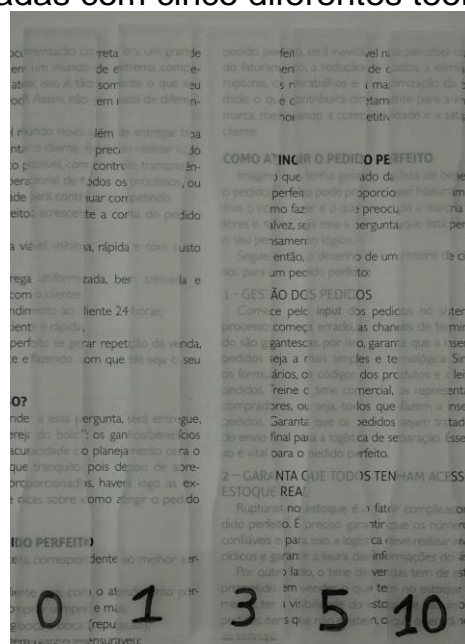


Figura 8 – Comparação visual da transparência entre as amostras com diferentes teores de AGt

Por meio de análise visual entre as cinco amostras apresentadas, não se observou uma mudança significativa na transparência entre as amostras que variam de 0% a 10% de AGt. Tal fato permite dizer que os diferentes teores de AGt não influenciaram na transparência das amostras moldadas pelo processo de injeção.

4 CONCLUSÃO

Houve uma redução no módulo de Young, na resistência à tração no escoamento e na ruptura das amostras com o aumento do teor de aditivo AGt. O uso de 1% de AGt não foi suficiente para obter ganhos em tenacidade, já com 3% de AGt observou-se um acréscimo de 17% em tenacidade, porém o incremento de aditivo em maiores percentuais não promoveu alterações nos resultados dessa propriedade. A adição de 1% e 3% de AGt não influenciou a resistência ao impacto das amostras. As amostras de PPr com 10% de AGt, não romperam e a resistência ao impacto obtida foi o dobro quando comparado às amostras sem AGt. Finalmente, conclui-se que o teor ótimo, que apresentou melhor desempenho mecânico a tração e impacto foi com 10% de AGt, ressaltando que não houve uma mudança significativa na transparência entre elas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao IFSul e a UFRGS pelo apoio laboratorial e analítico.

REFERÊNCIAS

- 1 Características do polipropileno copolímero randômico. Disponível em: <<https://www.braskem.com.br/busca-de-produtos?p=383>>. Acesso em: 23/09/2018.
- 2 WILHELM, H. M. Modificação do polipropileno com o poli(estireno-b-butadieno-b-estireno): Tese de Doutorado – UNICAMP – São Paulo; 2000.
- 3 BULHÕES, C. C. J. R. Tenacificação de polipropileno com elastômeros olefínicos para aplicações com requisitos de transparência ótica: Dissertação de Mestrado – UFSCar – São Paulo; 2011.
- 4 OLIVEIRA, C. I.; MONTEIRO, D. S. P.; ROCHA, M. C. G.; SILVA, A. L. N. Propriedades mecânicas e morfologia de misturas de polipropileno e elastômero termoplástico. In: I ENCONTRO DE ENGENHARIA, CIÊNCIA DE MATERIAIS E INOVAÇÃO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO – Nova Friburgo. Rio de Janeiro; 2015.
- 5 SILVA, F. O. M.; FORTE, M. M. C.; LIBERMAN, S. A. Blendas de polipropileno com elastômeros termoplásticos: propriedades mecânicas e térmicas. Porto Alegre - RS: Anais do 7º CBPol, 2003. p. 590-591.
- 6 HANAMOTO, L. S.; FELISBERTI, M. I. Blendas de polipropileno sindiotático com EPDM. Porto Alegre - RS: Anais do 7º CBPol, 2003. p. 712-714.
- 7 PESSAN, C. C.; LAROCCA, N. M.; HAGE, E. J.; PESSAN, L. A. Caracterização de blendas PP/EVA/PP-g-MA através de reometria de torque e análises mecânicas. São Carlos - SP: Anais do 10º CBPol, 2009.
- 8 ABREU, F. O. M. S.; FORTE, M. M. C.; LIBERMAN, S.A. SBS and SEBS block

- copolymers as impact modifiers for polypropylene compounds: *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 95, 2005, p. 254-263.
- 9 ABREU, F. O. M. S.; FORTE, M. M. C. Propriedades mecânicas e morfologia de blendas de polipropileno com TPEs, *Revista Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 16 n° 1, 2006. p. 71-78.
 - 10 TEDESCO, A. Propriedades de blendas ternárias de polipropileno: Tese de Doutorado – UFRGS – Porto Alegre; 2007.
 - 11 LIU, Q.; XU, Y.; ZHANG, H.; LI, Y.; DENG, B. Polypropylene/Polyamide Elastomer Blends: Morphology and Mechanical Property. *Journal of Polymer (Korea)*, vol. 38, N°5, 2014, p. 613-619.
 - 12 GREIN, C.; GAHLEITNER, M.; BERNREITNER, K. Mechanical and optical effects of elastomer interaction in polypropylene modification: Ethylene-propylene rubber, poly- (ethylene-co-octene) and styrene-butadiene elastomers. *Express Polymer Letters*, vol. 6, N°9, 2012, p. 688-696.
 - 13 SVAB, I.; PUSTAK, A.; DENAC, M.; SKAPIN, A. S.; LESKOVAC, M.; MUSIL, V.; SMIT, I. Polypropylene blends with m-EPR copolymers: Mechanical and Rheological Properties. *Journal Acta Chimica. Slovenia*. n°65, 2018, p. 344–353.
 - 14 Características do polipropileno copolímero com alto teor de etileno. Disponível em: <<https://www.exxonmobilchemical.com/en/library/asset/f5c393e4db81327c85257910004ab6b7>>. Acesso em: 03/10/2018.

LEAN OFFICE E ANÁLISE DE FLUXO DE VALOR

De Barba Jr, D.J.¹

Kuhn, L. Q.²

Bork. C.A.S.³

¹ Doutor, Durval João De Barba Junior, IFSul, debarbajr@sapucaia.ifsul.edu.br.

² Engenheiro, Leonardo de Quadros Kuhn, leonardo.qkuhn@gmail.com

³ Doutor, Carlos Alberto Schuch Bork, IFSul, bork@sapucaia.ifsul.edu.br.

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

Resumo

Com o sucesso da Toyota, mesmo em um Japão devastado pelo pós Segunda Guerra Mundial, surgiu o interesse em entender como os japoneses estavam administrando seu negócio e gerando tanta lucratividade. A partir desses estudos, apresentou-se o conceito de “lean” que trata de uma forma de pensamento enxuto, voltado à redução de desperdícios e aumento da produtividade no ambiente fabril por meio de ações de reorganização de processos e aplicação de ferramentas simples e objetivas, envolvendo pouca utilização de recursos naturais e financeiros. Mais recentemente, iniciou o processo de migração desses conceitos para os ambientes administrativos, chamado de “lean office”. Esse movimento migratório do pensamento enxuto para os ambientes administrativos está sendo implementado aos poucos nas empresas brasileiras e existem relatos de aplicações cada vez mais recentes em Universidades por todo o mundo. Seguindo essa tendência, o presente artigo busca explicar todos os conceitos básicos sobre a aplicação do pensamento enxuto em um ambiente administrativo, fazendo uso da metodologia de mapeamento de fluxo de valor.

Palavras-chave: Lean. Pensamento Enxuto. Lean Office. Ambiente Administrativo.

LEAN OFFICE AND FLOW ANALIZE OF THE VALUE

Abstract

Due to Toyota's success, even in a post-World War II, interest arose in understanding how the Japanese were managing their business and generating so much profitability. From these studies, the concept of "lean" was presented, which deals with a lean thinking, aimed at reducing waste and increasing productivity in the factory environment through actions of reorganization of processes and application of simple and objective tools, involving little use of natural and financial resources. More recently, it began the process of migration of these concepts to the administrative environments, called "lean office". This migratory movement from lean thinking to administrative environments is being gradually implemented in Brazilian companies and there are reports of increasingly recent applications in universities around the world. Following this trend, the present article seeks to explain all the basic concepts about the application of lean thinking in an administrative environment, making use of the value flow mapping methodology.

Keywords: Lean; Thought Thin; Lean Office; Administrative Environment.

1 INTRODUÇÃO

Taichi Ohno, a grande figura por trás da criação e implementação do pensamento enxuto na produção (*lean manufacturing*) da Toyota na década de 1950, talvez não imaginaria as proporções de quanta produtividade suas ideias trariam para a Toyota e para o mundo empresarial. Porém, é fato que suas ideias são aplicadas até os dias de hoje⁽¹⁾. Segundo Taichi Ohno, toda a atividade que envolve a utilização de algum recurso por parte do empregado e que o cliente não está disposto a pagar, pode ser considerado um desperdício. Sendo assim, o principal objetivo de qualquer aplicação dos conceitos do *lean thinking* deve ser, obrigatoriamente, a redução desses desperdícios, a fim de diminuir custos, aumentar a produtividade e por consequência proporcionar o melhor fluxo de processo possível, aumentando a lucratividade da empresa⁽²⁾.

Um dos ambientes onde existe maior oportunidade de aplicação dos conceitos de produção enxuta é no escritório. Entre 60% e 80% de todos os custos que envolvem o atendimento das demandas dos clientes é oriundo de processos administrativos, como por exemplo, notas fiscais, ordens de serviço e cotações. Sendo assim, as aplicações das ferramentas de produção enxuta no escritório podem ser alternativas bastante lucrativas em termos de redução de custos e melhoria de atendimento das demandas do cliente, uma vez que, nos últimos anos, as organizações se depararam com processos administrativos muito lentos e desconexos, gerando um alto custo e despesas desnecessárias, comprometendo as entregas nas datas acordadas com os clientes⁽³⁾⁽⁴⁾.

Este artigo tem por objetivo geral apresentar a metodologia *lean office* para ser um meio de consulta para possíveis aplicações nos setores administrativos deste IFSul.

A aplicação dos conceitos da filosofia enxuta em ambientes administrativos pode ser denominada *lean office* ou escritório enxuto. Sendo assim, aplicar os conceitos de escritório enxuto significa adaptar as ferramentas da manufatura enxuta nos ambientes administrativos⁽³⁾.

A migração dos conceitos da manufatura enxuta para o escritório pode ser um problema principalmente pelo fato de que nos processos de manufatura os desperdícios envolvem coisas físicas, como matérias primas e processos físicos e químicos. Entretanto, no escritório os objetos de estudo são fluxos de informações, e muitas vezes isso pode se tornar complicado de mensurar e visualizar⁽⁵⁾.

Muitas vezes as empresas falham ao tentar aplicar os conceitos da filosofia enxuta em seus escritórios. Isso se deve a diversos fatores, principalmente a se concentrar em aplicar estritamente as ferramentas, sem se preocupar com uma mudança na maneira como o trabalho é realizado e como ele flui pelos processos. Esse ambiente de insucesso pode gerar uma sensação de insatisfação nas pessoas e criar um bloqueio para novas tentativas de mudança⁽⁶⁾.

Visando tornar mais tangível essas informações, Locher⁽⁶⁾ propõe algumas etapas básicas para a aplicação do *lean* em escritórios, são elas:

Estabilizar – O objetivo dessa etapa é criar saídas e entradas previsíveis. Com isso, deve ser mais fácil eliminar as instabilidades do processo e garantir que a informação de saída seja da qualidade esperada.

Padronizar – Em grande parte das vezes, já existe alguma estabilidade dentro dos processos no escritório. Porém, dificilmente as pessoas se importam com a maneira como é feito o trabalho, desde que ele seja feito. Entretanto, padronizar um processo pode simplificar a forma com que o mesmo é realizado, diminuindo muito os tempos dos processos.

Visualizar – O objetivo dessa etapa é tornar o local de trabalho mais visual, fornecendo as informações de como fazer e como está o andamento dos processos, tornando o desempenho mais visível.

Melhorar – A última etapa se refere à melhoria contínua e tem por objetivo criar pessoas engajadas com o pensamento *lean*, que entendam a importância da melhoria contínua dos processos. O investimento da empresa na capacitação dos seus líderes e profissionais é de extrema importância nessa etapa.

Uma vez que traduzir os conceitos do pensamento enxuto para o escritório pode ser um problema principalmente pelo fato de no escritório serem abordados fluxos de informações, torna-se conveniente classificar os principais desperdícios para facilitar a abordagem desse conceito. As mesmas sete categorias citadas por Ohno para entendimento dos principais desperdícios na produção da época em que foi desenvolvida toda a filosofia do pensamento enxuto também podem ser observadas nos processos administrativos, como demonstra a Tabela 1⁽⁷⁾⁽⁸⁾.

Tabela 1: Comparativo dos desperdícios normais na manufatura e no escritório⁽⁷⁾⁽⁸⁾.

Desperdício	Manufatura	Escritório
Processo inadequado	Utilização errada de ferramentas, procedimentos ou sistemas	Uso incorreto de procedimentos ou sistemas inadequados, ao invés de abordagens simples e eficazes
Superprodução	Produzir excessivamente ou cedo demais, resultando em excesso de inventário	Gerar mais informação, em meio eletrônico ou papéis, além do que se faz necessário ou antes do correto momento
Inventário	Excesso de matéria-prima, de peças em processamento e estoque final	Alto volume de informação armazenado (<i>buffer</i> sobrecarregado)
Defeito	Problema de qualidade do produto ou serviço	Erros frequentes de documentação, problemas na qualidade dos serviços ou baixo desempenho de entrega
Transporte	Transporte excessivo, resultando em dispêndio desnecessário de capital, tempo e energia	Utilização excessiva de sistemas computacionais nas comunicações
Movimentação	Desorganização do ambiente de trabalho, resultando em baixo desempenho dos aspectos ergonômicos e perda frequente de itens	Movimentação excessiva de pessoas e informações
Espera	Longos períodos de ociosidade de pessoas e peças resultando em lead time longo	Períodos de inatividade das pessoas e informações (aprovação de assinatura, aguarda fotocópias, espera no telefone)

Para que ocorra a aplicação correta dos conceitos de pensamento enxuto no escritório, é conveniente conhecer algumas principais ferramentas que ajudam a aplicar essa ideia. Tapping e Shuker⁽³⁾ apresentam alguns exemplos de ferramentas aplicáveis ao ambiente do escritório:

a) **Mapeamento de fluxo de valor:** É uma ferramenta visual focada na compreensão total de como a informação flui pelo processo analisado e auxilia na detecção das principais fontes de desperdício do processo. É usualmente utilizada como uma ferramenta de gerenciamento de processos de mudança (Figura 1).

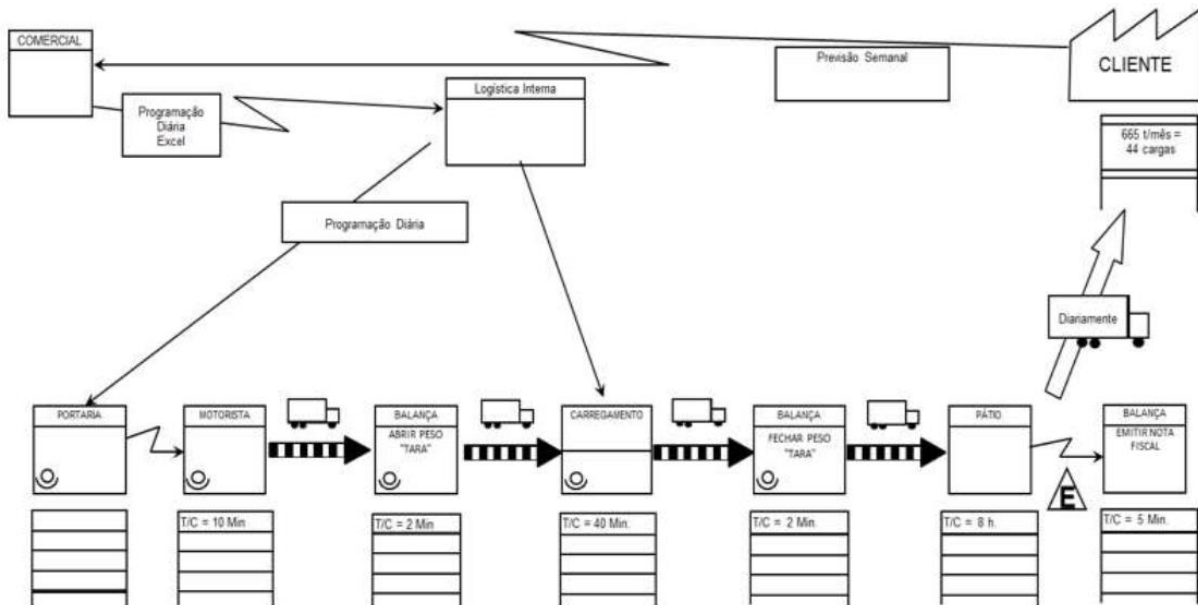


Figura 1: Mapa de Fluxo de Valor⁽⁹⁾.

b) **Fluxo Contínuo:** O Fluxo contínuo é na prática um sinônimo de JIT (*Just In Time*), ou seja, procura garantir que os processos dentro de um fluxo de valor se comuniquem de uma maneira “puxada”, onde os processos seguintes só recebem suas demandas quando necessário e na quantidade solicitada, a fim de diminuir que só o trabalho realmente necessário seja processado (Figura 2).



Figura 2: Fluxo Contínuo⁽⁹⁾.

c) **FIFO (First In, First Out)**: Na tradução literal “Primeiro a entrar, primeiro a sair”, é um método de controle do trabalho que garante que a primeira tarefa solicitada seja a primeira a ser entregue.

d) **Takt Time**: É o ritmo da demanda do cliente, determina a velocidade que um processo precisa acontecer para garantir que a demanda do cliente seja atendida no tempo esperado. É calculado dividindo-se o tempo total disponível de operação pela quantidade total de demanda exigida pelo cliente.

e) **Kanban**: São cartões que tem como objetivo promover uma comunicação precisa entre os processos, avisando o processo anterior que o próximo precisa de determinada demanda. O principal objetivo do Kanban, com isso, é que a demanda seja processada nas quantidades necessárias e somente quando necessário, como no exemplo apresentado na Figura 3.

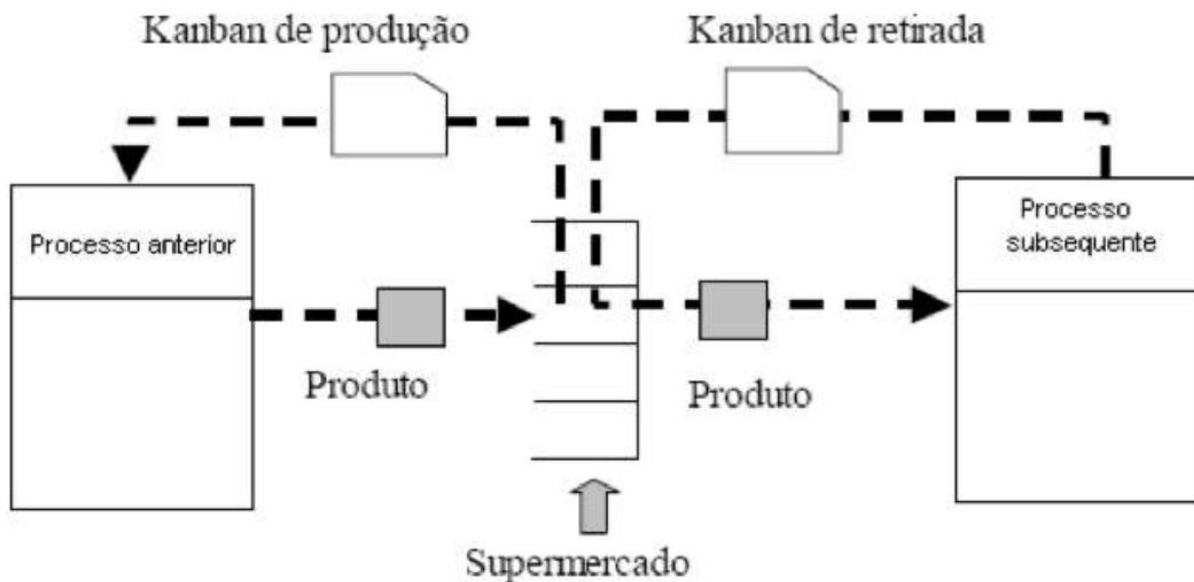


Figura 3: Mecanismo Kanban⁽⁹⁾.




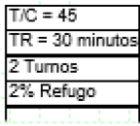



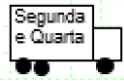




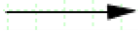

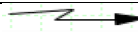


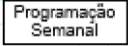











f) **Trabalho Padronizado**: É um documento que define qual o melhor método para se realizar determinada atividade. Tem objetivo garantir a qualidade do processo ao mesmo tempo em que busca fazê-lo da forma mais eficiente possível.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A ferramenta de mapeamento de fluxo de valor tem como objetivo realizar o detalhamento “porta a porta”, que seria demonstrar o processo desde o recebimento até o produto chegar em sua etapa final, e que vai estar disponível para entrega ao cliente. Sendo assim, seus princípios baseiam-se na identificação e eliminação dos desperdícios encontrados ao longo do fluxo produtivo⁽¹⁰⁾.

Na Tabela 2 são apresentados os ícones mais utilizados na elaboração de um mapa de fluxo de valor e suas respectivas definições.

Tabela 2: Ícones de um mapa de fluxo de valor⁽¹¹⁾.

Ícone	Descrição	Ícone	Descrição
	Fontes Externas		Processo
	Processo Compartilhado		Caixa de Dados
	Estoque		Seta Empurrado
	Fluxo Sequencial, primeiro a entrar, primeiro a sair		Entrega Via Caminhão
	Entrega Via Embarcação		Entrega Via Empilhadeira
	Retirada		Necessidade de Kaizen
	Fluxo de Informação Manual		Produtos Acabados para Clientes
	Fluxo de Informação Eletrônica		Fluxo de Kanban
	Nivelamento de Carga		Informação
	Bola de Puxada Sequenciada		Posto de Kanban
	Kanban de Produção		Kanban de Sinalização
	Kanban Retirada		Kanban Chegando em Lotes
	Operador		Programação "Vá Ver"
	Pulmão ou Estoque de Produção		Supermercado
	Problemas de Qualidade		

Além dos símbolos apresentados na Tabela 2, existem outros termos que podem ser aplicados em um mapeamento de fluxo de valor, como os apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Símbolos de um mapa de fluxo de valor⁽¹²⁾.

Medição	Símbolo	Descrição
Takt Time	Takt	Taxa de demanda do cliente (tempo_disponível/quantidade_demandada).
Lead time	L/T	Tempo de processamento de um pedido, desde o momento que é colocado na empresa até o momento em que o produto é entregue.
Relação de produção para entrega	P:D	Lead Time / Tempo de Entrega
Ciclo de trabalho do operador	OCT	Tempo de trabalho
Ciclo de trabalho da máquina	MCT	Tempo de máquina
Acréscimo de valor	V/A	Tempo envolvido em um processo que agrega valor.
Entregas no prazo	OTD	Entregas no prazo / Entregas totais
Inventário	I	Número em dias equivalente aos produtos bons no estoque.
Giro de Estoque	ST	Número de vezes por ano que o estoque é substituído
Tamanho do Lote	Batch	Número de peças por lote
Overall Equipment Effectiveness	OEE	Eficiência global dos equipamentos (disponibilidade x produtividade x qualidade)
confiabilidade	Rel.	Confiabilidade do Processo (%)
Tempo de setup	C/O	Tempo de valor não agregado necessário para para converter uma configuração de uma linha de produto para outra linha
Rendimento	Yeld	100% – %Rejeição
Rendimento de primeira passagem	FPY	Produto de todos os rendimentos
Taxa de Rejeição	Scrap	Partes defeituosas / Total produzido
Defeitos por milhão	PPM	(Partes defeituosas / Partes boas) x 1.000.000
Taxa de Retrabalho	Rework	Produtos retrabalhados / Total produzido
Área	Area	Área ou espaço utilizado para operação
Frequência de manuseio	HF	Número de vezes que um item é manuseado
Distância do operador	OD	Distância que o operador percorre
Distância da Máquina	MD	Distância que o material percorre

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Antes de aplicar a ferramenta de Mapeamento de Fluxo de Valor deve-se fazer uma descrição da organização, alvo do estudo, onde deve ser implantado a metodologia *lean office* e, logo após, a caracterização do setor estudado, pensando em fornecedores, clientes e colaboradores (*stakeholders*) e a compreensão das rotinas e suas limitações.

Mapeamento de fluxo de valor é uma ferramenta muito utilizada para a análise de processo e aplicação do *lean*. Tapping e Shuker⁽³⁾ propõem que a implantação do método de mapeamento de fluxo de valor pode ser dividida em oito etapas. São elas:

1. **Comprometer-se com o *lean*:** A alta direção da organização deve criar um ambiente onde seja possível que todos os colaboradores possam firmar um compromisso com a mudança. Isso deve ser feito por meio de treinamentos e outras atividades que demonstrem a importância de se adotar esse tipo de postura na organização.

2. **Escolher o fluxo de valor:** Tem como objetivo definir um fluxo alvo para a aplicação do *lean*. Para que isso seja estabelecido, deve-se executar um levantamento com os colaboradores do setor da empresa para a definição de qual fluxo é o mais crítico, visando criar uma ordem de urgência para a análise e implantação do pensamento enxuto.

3. **Aprender sobre *lean*:** Para que o comprometimento dos colaboradores seja de fato genuíno, deve-se propor a realização de workshops e treinamentos específicos sobre as ferramentas *lean* e o pensamento enxuto, além de desenvolver lideranças *lean*, para que ocorra um entendimento geral de como efetivamente ocorrerá a mudança e quantificar os possíveis resultados de uma aplicação bem-sucedida dessa filosofia.

4. **Mapear o estado atual:** Tem como objetivo promover um melhor entendimento do fluxo de valor alvo do estudo, analisando as interações entre os diferentes processos das diferentes áreas que participam desse fluxo. Esse processo é feito por meio de um mapeamento do fluxo, que deve ser realizado em um evento ministrado por um profissional devidamente treinado que coordenará o mapeamento. Além disso, os participantes do evento devem ser pessoas envolvidas no fluxo, para que o mapeamento ocorra da forma mais precisa possível. Essa é sem dúvidas uma das etapas mais críticas e que deve ser realizada com muito cuidado.

5. **Identificar as métricas *lean*:** Serão definidos os meios de medida para comparação do antes e depois da aplicação da metodologia. Só assim será possível mensurar se a aplicação foi bem-sucedida e se todo o esforço de implementação das ferramentas surtiu o efeito esperado nos processos. Essa identificação será feita durante o primeiro evento de mapeamento do fluxo.

6. **Mapear o estado futuro:** Deve-se executar um novo mapeamento do fluxo de valor. O objetivo desse novo mapeamento é expor os resultados esperados e como será o novo fluxo com as ferramentas propostas nas etapas anteriores aplicadas ao fluxo. A realização desse novo mapeamento envolverá o acontecimento de um novo evento com as pessoas envolvidas no fluxo. Para essa definição existem três etapas:

- Entender a demanda do cliente.
- Buscar a implantação do fluxo contínuo.
- Distribuir uniformemente o trabalho entre as operações (nivelamento).

7. **Criar planos Kaizen:** Essa etapa consiste em definir um planejamento para a implantação das melhorias identificadas nos processos anteriores. Para isso, essa etapa será a última a envolver um evento reunindo os participantes do fluxo e é a mais importante para que todo o trabalho seja de fato efetivo.

8. **Implantar planos Kaizen:** Última etapa no processo de implantação do método de mapeamento de fluxo de valor. Consiste na aplicação dos planos Kaizen criados na etapa anterior e acompanhamento dos resultados dessas aplicações.

A Figura 4 representa um resumo das atividades que serão necessárias para a aplicação da metodologia do mapeamento de fluxo para a melhoria do processo a ser definido.



Figura 4: Fluxograma de aplicação do Mapeamento de Fluxo de Valor⁽¹³⁾.

O primeiro tópico do fluxograma apresentado na Figura 4 representa a escolha do fluxo ideal a ser trabalhado, composto de uma determinada família de serviços. A seguir, tem-se a etapa do desenho do estado atual, que representa a etapa 4 da metodologia proposta por Tapping e Shuker⁽³⁾. Após, realiza-se o evento de desenho do estado futuro, representando a etapa 6 da metodologia apresentada pelos autores. Por fim, elabora-se o plano de ação e implementação, representando a etapa final da metodologia.

O resumo apresentado na Figura 4 busca simplificar as etapas para facilitar o entendimento, eliminando as etapas de aprendizagem sobre *lean* e propondo uma visão mais simplificada dos eventos que deverão ocorrer e de como se comporta o fluxo para a realização do estudo do fluxo de valor por meio do mapeamento do mesmo.

4 CONCLUSÃO

Os conceitos enxutos estão cada vez mais presentes no dia a dia das grandes organizações em geral. Com esse estudo, pretendeu-se apresentar ferramentas e conceitos *lean* para que estes conceitos se tornem parte integrante da rotina das pessoas envolvidas no estudo, a fim de deixar a organização preparada e receptiva a essa tendência em suas rotinas operacionais administrativas.

Observa-se que a metodologia sugerida por Tapping e Shuker⁽³⁾, de oito passos para a aplicação do mapeamento de fluxo de valor, em ambientes administrativos, é

muito prática e válida, tornando o movimento de mudança dos processos algo natural e de entendimento de todas as pessoas envolvidas.

É importante frisar que o grande objetivo de qualquer aplicação da metodologia *lean* é a mudança no pensamento das pessoas envolvidas nos processos. Só são possíveis mudanças e melhorias drásticas em ambientes onde exista incentivo por parte da liderança e pessoas engajadas de corpo e alma em fazer o melhor para facilitar seu trabalho e aprimorar os processos para as pessoas que os necessitam.

REFERÊNCIAS

- 1 SHIMOKAWA K; FUJIMOTO, T. O Nascimento do Lean: Conversas com Taichi Ohno, Eiji Toyoda e outras pessoas que deram forma ao modelo Toyota de gestão. Primeira Edição, Porto Alegre: Bookman, 2011.
- 2 WOMACK, J.P.; JONES. D.T. A mentalidade enxuta nas empresas – elimine desperdício e crie riqueza. Rio de Janeiro: Campus, 2004.
- 3 TAPPING, D; SHUKER, T. Gerenciamento do fluxo de valor para áreas administrativas – 8 passos para planejar, mapear e sustentar melhorias Lean nas areas administrativas. Primeira Edição, São Paulo: Leopardo Editora, 2010.
- 4 BYRNE, A. Lean Turnaround: a grande virada. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2014.
- 5 OLIVEIRA, J.D. Escritório Enxuto. [Online] 2007. Disponível em: <<http://www.lean.org.br>> Acesso em: JUN 2017.
- 6 LOCHER, D. Practicing Lean fundamentals in na office enviroment. [Online]. 2013. Disponível em: <www.lean.org> Acesso em: JUN 2017.
- 7 RIANI, Aline M. Estudo de Caso: O Lean Manufacturing Aplicado na Becton Dickinson. 2006. 52 f. Monografia (Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora/MG.
- 8 ROTHER, Mike; HARRIS, Rick. Criando Fluxo Contínuo: Um guia de ação para Gerentes, Engenheiros e Associados da Produção. São Paulo, Lean Institute Brasil, 2002.
- 9 ROTHER, M.; SHOOK, J. Aprendendo a Enxergar: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar desperdício. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2003.
- 10 WILDE, Joici R. Metodologia para Implantação do Lean Manufacturing em Laboratórios de Calibração. 2010. 102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Instituto Superior Tupy, Unisociesc, Joiville, Santa Catarina.
- 11 THOMPSON, Christopher. Material de Estudo Lean – Ícones para o Mapeamento. 2017, [On line]. Disponível em: <<http://www.lean.org.br>> Acesso em: DEZ 2017
- 12 SILVEIRA, C.B. Mapeamento de Fluxo de Valor. [Online] em Citisystems. 2013. Disponível em: <www.citisystems.com.br>. Acesso em: SET 2018.
- 13 PEDRASSOLI, E. O Lean Office aplicado em um processo de folha de pagamento: um estudo de caso. 2015. 52f. Trabalho de conclusão do curso de MBA em Gestão Industrial – Fundação Getúlio Vargas. Ribeirão Preto, São Paulo.

MATERIAIS PARA APLICAÇÃO EM ELETROCATALISADORES DE CÉLULAS A COMBUSTÍVEL DE ETANOL DIRETO

Brasil, L.M.M.¹

Kinast, E.J.²

Silva, R.C.B.³

Ries, L.A.S.⁴

Malfatti, C.F.⁵

¹ Eng. Louise Marianne de Matos Brasil, Laboratório de Pesquisa em Corrosão (LAPEC) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), louise.brasil@hotmail.com.

² Prof. Dr. Eder Julio Kinast, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (Uergs), ejkinast@gmail.com.

³ Rudy Correa Britto da Silva, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (Uergs), rudyCBS1@gmail.com.

⁴ Profa. Dra. Lúcia Allebrandt da Silva Ries, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (Uergs), l.allebrandt@gmail.com.

⁵ Profa. Dra. Célia de Fraga Malfatti, Laboratório de Pesquisa em Corrosão (LAPEC) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), materiaisxenergia@gmail.com.

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

Resumo

As células a combustível de etanol direto são eficientes dispositivos conversores de energia química em elétrica, constituídas basicamente por um ânodo, um cátodo e um eletrólito, e operam a baixas temperaturas. Os eletrocatalisadores, responsáveis por promover as reações anódicas e catódicas, geralmente são compostos por platina suportada em carbono. No presente trabalho, foi proposta a síntese e caracterização de eletrocatalisadores utilizando carvão ativado e biochar oriundo da casca do arroz como suportes, agregando, dessa forma, valor a um resíduo agroindustrial poluente e de alta disponibilidade no Estado do Rio Grande do Sul. Além disso, substituiu-se o catalisador de platina por níquel, que é um metal de menor custo. Para a deposição desse catalisador nos suportes, foi empregado o método de redução por borohidreto de sódio. Os materiais sintetizados foram caracterizados estrutural e quimicamente pelo método de isoterma de BET, análise granulométrica por difração a laser, espectroscopia de energia dispersiva (EDS), microscopia eletrônica de varredura (MEV) e difração de raios-X (DRX). A caracterização eletroquímica foi realizada por voltametria cíclica, visando avaliar o desempenho do eletrocatalisador frente à reação de redução do oxigênio. Nos resultados de EDS e MEV, foi observado que houve deposição do metal com a formação de duas estruturas: aglomerados globulares ou filamentosos, e filmes finos. Resultados preliminares referentes à caracterização eletroquímica, frente à reação de redução do oxigênio, mostraram que os resultados obtidos com Ni como catalisador foram promissores e, além disso, níquel suportado em carvão ativado apresentou o melhor desempenho.

Palavras-chave: Biochar; Eletrocatalise; Reação de redução do oxigênio.

MATERIALS FOR DIRECT ETHANOL FUEL CELLS CATALYSTS

Abstract

Direct ethanol fuel cells are efficient converters of chemical energy to electrical energy, operate at low temperatures, and the main constituents are an anode, a cathode and an electrolyte. Electrocatalysts are generally composed of platinum supported on carbon, and they are responsible for promoting anodic and cathodic reactions. The present work proposed the synthesis and characterization of electrocatalysts using activated charcoal and biochar from rice hull as supports, adding value to a polluting agroindustrial residue highly available in the State of Rio Grande do Sul, and replacing the platinum catalyst with nickel, a lower cost metal. Sodium borohydride was used as a reducing agent for the catalyst deposition on the supports. The resulting materials were characterized using the BET method, laser diffraction analysis, dispersive energy spectroscopy (EDS), scanning electron microscopy (SEM) and X-ray diffraction (XRD). The electrochemical characterization was performed by cyclic voltammetry, evaluating the electrocatalyst performance for the oxygen reduction reaction. EDS and MEV results confirmed the catalyst deposition with the formation of two structures: globular agglomerates and thin films. Preliminary electrochemical results regarding the oxygen reduction reaction showed Ni as a promising catalyst and that nickel supported in activated carbon presented the best performance.

1 INTRODUÇÃO

Com o intuito de amenizar e desacelerar as mudanças climáticas causadas por uma matriz energética mundial majoritariamente dependente de combustíveis fósseis, a demanda por energias renováveis têm sido pauta das reuniões dos líderes globais nos últimos anos. Segundo a Agência Internacional de Energia⁽¹⁾, um quarto das emissões de gás carbônico estão relacionadas aos transportes, e estima-se que até 2050 o número de carros triplique, superando o número de dois bilhões de veículos. Sendo assim, é necessário que medidas sejam tomadas para reduzir significativamente a emissão de gases do efeito estufa. O desenvolvimento de tecnologias que melhorem a eficiência dos veículos e o uso de biocombustíveis são soluções para um futuro mais sustentável do setor⁽¹⁾,

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de etanol, biocombustível que pode ser produzido a partir de diversas fontes de biomassa, incluindo cana-de-açúcar, milho, gramíneas, madeira e palha. Além do uso em motores a combustão, o etanol pode ser utilizado em células a combustível (CaC). As células a combustível de etanol direto (DEFC) operam a baixas temperaturas, e suas aplicações incluem transporte, energia portátil, energia distribuída, energia de reserva e de área remota e geração de energia estacionária em grande escala⁽²⁾. Em uma CaC, dois eletrodos são separados por um eletrólito e conectados por um circuito externo. O combustível permeia a estrutura do ânodo, onde é oxidado, liberando elétrons que, quando chegam ao cátodo pelo circuito externo, participam da reação de redução do oxigênio, proveniente do ar na maioria das vezes⁽³⁾.

O etanol é uma grande molécula que apresenta uma cinética de oxidação muito lenta, tornando necessário o uso de eletrocatalisadores, que encarecem esta tecnologia⁽²⁾. Platina, paládio e níquel suportados em carbono são estudados para eletro-oxidação do etanol, e suportes alternativos para esses metais têm sido avaliados por diversos autores⁽⁴⁾. No presente trabalho, níquel foi incorporado a dois suportes distintos, carvão ativado (CA) e biochar (BC), pelo método da redução por borohidreto de sódio. O material sintetizado foi caracterizado estrutural e quimicamente, e foram feitas caracterizações eletroquímicas para avaliar o desempenho do eletrocatalisador frente à reação de redução do oxigênio.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os eletrocatalisadores foram preparados a partir da redução química de um sal precursor em suportes carbonáceos, e o mesmo procedimento foi adotado tanto para o carvão ativado (Orion) quanto para o biochar (produzido em leito fluidizado a partir da pirólise rápida da casca do arroz, a 600 °C, em uma planta laboratorial no Departamento de Engenharia Química da UFRGS)⁽⁵⁾. Foram determinadas as quantidades de reagentes de forma que 20% em massa de metal fosse disperso nos suportes. O material carbonáceo foi adicionado a uma solução aquosa de isopropanol (Dinâmica) e NiCl₂.6H₂O (Nuclear), e colocado em banho ultrassônico por 10 minutos. Em seguida, sob agitação magnética, o agente redutor NaBH₄ (Dinâmica) foi dissolvido em uma solução de NaOH (Nuclear) 0,05 M, e gotejado na suspensão. Após 30 minutos de reação, o material foi filtrado, lavado, e seco a 70 °C por 2 h. Ao longo do trabalho, os materiais estão identificados conforme Tabela 1.

Tabela 1. Identificação dos materiais.

Material	Descrição
CA	Carvão ativado
BC	Biochar oriundo de casca de arroz
Ni/CA	Níquel suportado em carvão ativado
Ni/BC	Níquel suportado em biochar oriundo de casca de arroz

O valor de área superficial para o carvão ativado foi obtido por isoterma de BET no Laboratório de Materiais Cerâmicos (LACER) da UFRGS, no Autosorb Quantachrome Instrument, modelo Nova 1000. Para o biochar, os valores de área superficial foram analisados no Sistema Multipropósito SAMP3, da Termolab equipamentos, no departamento de Engenharia Química da UFRGS. Os diâmetros médios de grão dos suportes foram determinados pelo método de granulometria por difração a laser, no equipamento CILAS 1180 Líquido, no Laboratório de Engenharia de Processos do CIENTEC. Os ensaios de microscopia eletrônica de varredura (MEV-FEG) e EDS foram realizados após a metalização das amostras, no

Laboratório Central de Microscopia e Microanálise (LabCEMM) da PUC-RS, utilizando um microscópio modelo FEI Inspect F50. Para determinação do tamanho de cristalito e percentual de cristalinidade, foram realizados ensaios no Laboratório de Difractometria de Raios-x, no Instituto de Física da UFRGS, em um Difrátômetro SIEMENS D500, com 2θ variando de 10° a 100° , passo de $0,05^\circ$, e tempo de contagem de 1 segundo.

Para a realização das voltametrias cíclicas, foi preparada uma mistura contendo o eletrocatalisador, isopropanol (Dinâmica) e solução de Nafion® 5% (Sigma-Aldrich), e esta foi depositada em uma haste de grafite. A caracterização eletroquímica foi realizada no AUTOLAB/PGSTAT204, vinculado ao software Nova 2.1.2, utilizando uma célula eletroquímica de 150 mL, contendo solução de H_2SO_4 (Anidrol) 0,1 M, eletrodo de referência de calomelano saturado, e um contra eletrodo de platina. O eletrodo de trabalho foi preparado em uma haste de grafite, na qual foram depositados $1,1 \text{ mg.cm}^{-2}$ do material sintetizado. As voltametrias foram realizadas a uma velocidade de varredura de 20 mV.s^{-1} . Todos os procedimentos foram realizados à temperatura ambiente.

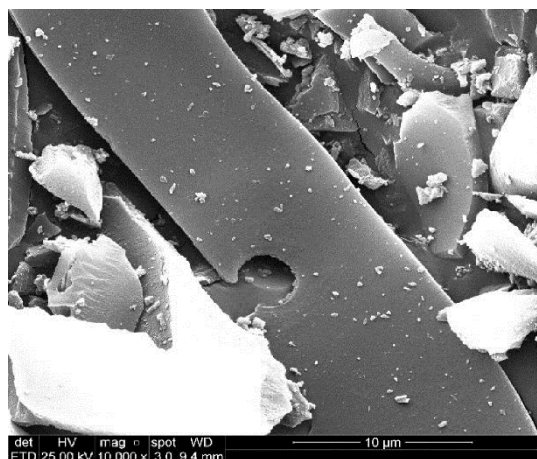
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de área superficial e os diâmetros médios de grão dos suportes estão organizados na Tabela 2. O Vulcan® XC-72R Carbon Black, negro de fumo mais utilizado para este tipo de aplicação, apresenta um tamanho médio de grão entre 30 e 60 nm, valores bem menores do que os encontrados para os suportes utilizados neste trabalho. A área superficial média encontrada na literatura para o Vulcan® XC-72R é $250 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$, aproximadamente três vezes maior que a área superficial do biochar, e metade da área determinada para o carvão ativado.

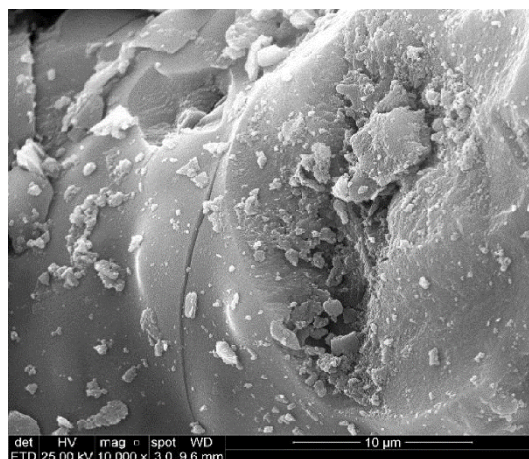
Tabela 2. Área superficial e tamanho do grão dos suportes.

Caracterização	Carvão ativado	Biochar
Área superficial ($\text{m}^2.\text{g}^{-1}$)	570,09	69,09
Diâmetro médio (μm)	10,70	43,44

Nas figuras a seguir, são apresentadas as imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura. Na Figura 1, fica evidenciada a diferença de morfologia das partículas: enquanto o carvão ativado apresenta estrutura laminar, os grãos de biochar apresentam uma estrutura mais complexa, que também foi observado por Cruz *et al.* (2012)⁽⁶⁾. As micrografias dos materiais após a deposição de níquel são apresentadas na Figura 2, onde é possível observar que, independente do substrato, o metal se deposita com o mesmo padrão.

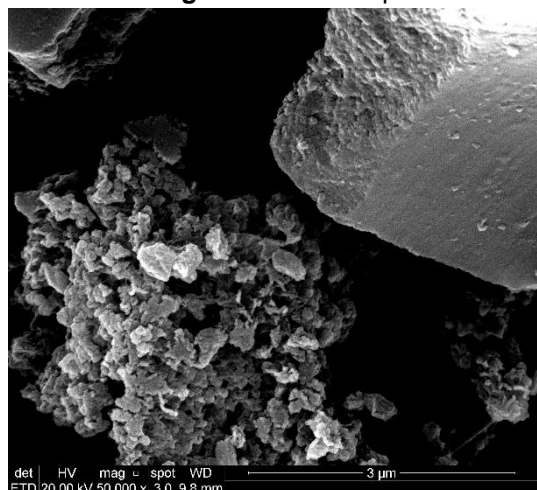


(a) Carvão ativado.

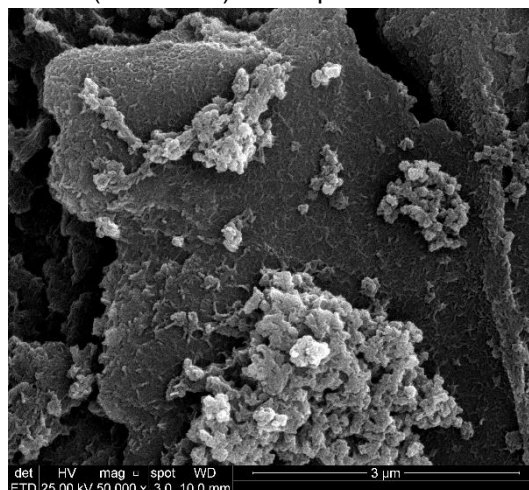


(b) Biochar.

Figura 1. Microscopia eletrônica de varredura (MEV-FEG) dos suportes.



(a) Ni/CA.



(b) Ni/BC.

Figura 2. Microscopia eletrônica de varredura (MEV-FEG) dos eletrocatalisadores.

Nas análises de espectroscopia de energia dispersiva, foi observado que o carvão ativado é composto, majoritariamente, por carbono, enquanto o biochar apresenta uma fração significativa de silício, e uma quantidade de oxigênio maior que a de carbono. Isso ocorre devido ao fato de que o biochar foi obtido a partir da casca do arroz, que é rica em sílica (SiO_2). A Figura 3 exibe as análises de EDS em linha dos catalisadores, indicando maior concentração de metal nas estruturas globulares e menor concentração nas regiões planares. Estas, ainda que aparentemente lisas, encontram-se recobertas por um filme contendo o metal adicionado na síntese do catalisador.

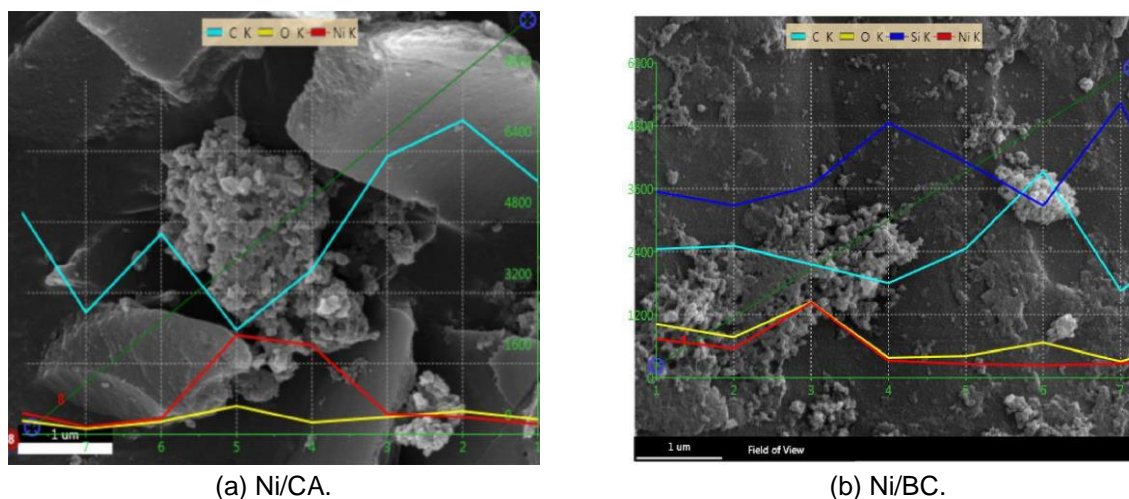


Figura 3. EDS em linha dos eletrocatalisadores.

As análises de difração de raios X do carvão ativado e do biochar (Figura 4) confirmaram que ambos os suportes são materiais amorfos. Após a deposição do níquel, é formada uma fração cristalina, e foram determinados os valores de cristalinidade e tamanho de cristalito. O cálculo da cristalinidade foi realizado através da razão entre a área cristalina e a área total do espectro, e o diâmetro médio dos cristalitos (τ) é determinado por meio da equação de Debye-Scherrer (Equação 1). Esse valor é obtido relacionando-se o comprimento de onda da radiação eletromagnética (λ), constante dependente da forma das partículas (k), largura na metade da altura do pico de difração (β), e ângulo de difração (θ)⁽⁷⁾. Os resultados são apresentados na Tabela 3.

$$\tau = \frac{k \cdot \lambda}{\beta \cdot \cos(\theta)}$$

Equação 1

Tabela 3. Tamanho de cristalito e cristalinidade dos materiais sintetizados.

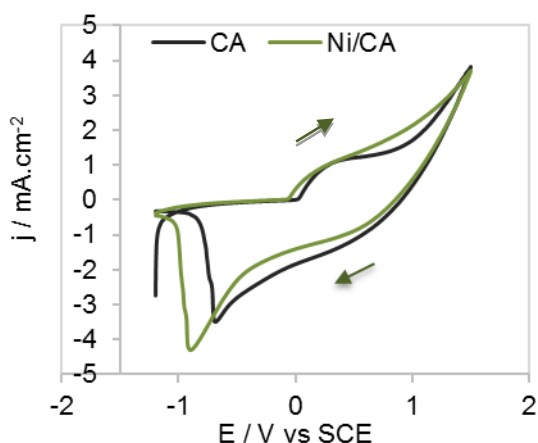
Material	Tamanho médio de cristalito (nm)	Cristalinidade (%)
CA	Indetectável	Indetectável
BC	Indetectável	Indetectável
Ni/CA	4,07	26
Ni/BC	3,91	19

A análise dos valores mostra que a cristalinidade ficou em torno de 22%, independente da natureza do suporte, e que o carvão ativado e o biochar apresentaram fração cristalina indetectável. O cálculo do tamanho do cristalito foi realizado empregando um fator de forma (k) igual a 0,94 e comprimento de onda da difração de raios-X (λ) igual a 0,54056 Å, correspondente ao cobre., Foram detectados cristalitos com tamanho médio de 4 nm para as partículas suportadas.

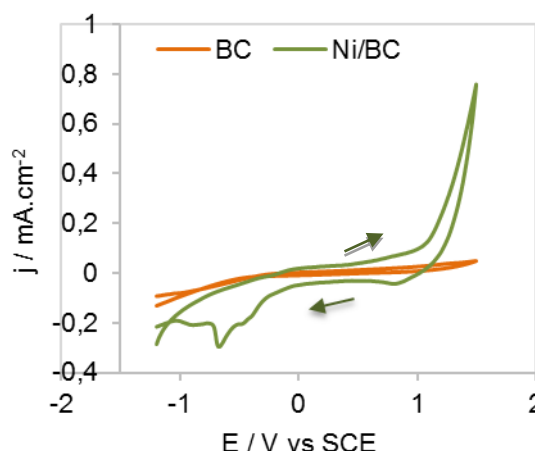
O desempenho eletroquímico do material foi investigado por meio de voltametria cíclica. A Figura 4 mostra os resultados das medidas realizadas de um potencial de -1,2 a +1,5 V vs. SCE (eletrodo de referência de calomelano saturado), a uma velocidade de varredura de 20 mV.s⁻¹. Pode-se observar um comportamento típico do carbono, caracterizado por uma extensa faixa de potencial disponível para estudos eletroquímicos, limitada pela evolução do oxigênio (limite anódico), e pela reação de redução do oxigênio (limite catódico). Alguns fatores que interferem nos voltamogramas são velocidade de varredura, faixa de potencial, pH e composição do eletrólito, agitação do eletrodo, entre outros, e estes devem ser investigados em trabalhos futuros.

Como pode-se observar na Figura 4(a), o carvão ativado apresentou comportamento pseudocapacitivo, que pode ser atribuído à elevada área superficial do carvão ativado. Além disso, observa-se um pico de corrente catódica próximo a -0,7 V vs. SCE. A deposição de níquel não alterou o perfil voltamétrico do material, mas deslocou o pico e aumentou a densidade de corrente em aproximadamente 1 mA.cm⁻².

Por outro lado, observou-se a inexistência de picos em toda a faixa de potencial a qual o biochar foi analisado, Figura 4(b), indicando que se trata de um material inerte com potencial para uso como suporte. A ocorrência de picos com a adição de níquel a este suporte demonstra que houve atividade eletrocatalítica, atingindo uma densidade de corrente de -0,3 mA.cm⁻².



(a) CA (carvão ativado) e Ni/CA (níquel suportado em carvão ativado).



(b) BC (biochar) e Ni/BC (níquel suportador em biochar).

Figura 4. Voltamogramas eletrocatalisadores suportados em carvão ativado e biochar (em solução de H_2SO_4 0,5 M e velocidade de varredura de $20\text{mV}\cdot\text{s}^{-1}$).

4 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos atenderam os objetivos propostos no presente trabalho. Os seguintes valores foram obtidos para a área superficial e tamanho de grão: $570\text{ m}^2\cdot\text{g}^{-1}$ e $10,70\text{ }\mu\text{m}$ para o carvão ativado, e $69\text{ m}^2\cdot\text{g}^{-1}$ e $43,44\text{ }\mu\text{m}$ e para o biochar, respectivamente.

As análises de MEV-FEG e EDS mostraram que houve deposição do metal, com a formação de aglomerados globulares, e de filmes finos. Através das análises de DRX, foi comprovado que o método de redução empregado propiciou a produção de nanopartículas nos dois suportes estudados, apresentando um grau de cristalinidade em torno de 22%.

A caracterização eletroquímica, frente à reação de redução do oxigênio, sugeriu que os materiais sintetizados potencializaram a atividade eletrocatalítica, tendo o níquel apresentado um bom desempenho.

Apesar de os melhores resultados terem sido obtidos utilizando-se o carvão ativado, o biochar tem potencial, pois outras biomassas e condições do processo de pirólise podem ser investigadas.

O biochar oriundo da casca do arroz mostrou-se uma alternativa viável como suporte para nanopartículas, agregando valor a um resíduo agroindustrial poluente e de alta disponibilidade no Estado do Rio Grande do Sul. Além disso, os metais utilizados nas sínteses são de menor custo em comparação à platina e ao paládio.

Dessa forma, os resultados contribuem para o desenvolvimento de novas tecnologias voltadas para a produção eficiente de energia renovável em células a combustível.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio do CNPq e da CAPES para desenvolvimento deste trabalho, ao Laboratório de Pesquisa em Corrosão (LAPEC), ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, e à Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

REFERÊNCIAS

- 1 INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Transport, Energy and CO₂: Moving toward sustainability. Paris, França. IEA Publications, 2009. 414 páginas. Disponível em <<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/transport2009.pdf>>. Acesso em 09 de setembro de 2018. Z.Y. Liua, N.H. Loha, S.B. Tora, K.A. Khora, Y. Murakoshib, R. Maedab, T. Shimizub Micro-powder injection molding, Journal of Materials Processing Technology 127 (2002) 165-168.
- 2 BADWAL, S.P.S. *et al.* Direct ethanol fuel cells for transport and stationary applications – A comprehensive review. Applied Energy. V. 145, p. 80-103, 2015.

- 3 USP - PORTAL BIOSSISTEMAS. O que é célula a combustível? 2012. Disponível em: <<http://www.usp.br/portalbiossistemas/?p=4316>>. Acesso em de 02 setembro de 2018.
- 4 CARVALHO, L.L., *et al.* Nickel–palladium electrocatalysts for methanol, ethanol, and glycerol oxidation reactions. *International Journal of Hydrogen Energy*. V. 42, p. 16118-16126, 2017.
- 5 RAYMUNDO, L. M. Desenvolvimento de uma planta laboratorial de pirólise rápida em leite fluidizado aplicado à casca de arroz. 2016. Tese de mestrado. Departamento de Engenharia Química. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2016.
- 6 CRUZ, G, *et al.* Avaliação das propriedades térmicas e morfológicas de biomassas in natura. VII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. São Luís (MA), V. 1, ago, 2012.
- 7 MONSHI, A., *et al.* Modified Scherrer Equation to Estimate More Accurately Nano-Crystallite Size Using XRD. *World Journal of Nano Science and Engineering*. V. 2, p. 154-160, 2012.

MORFOLOGIA DA CAMADA CARBONOSA EM REVESTIMENTOS INTUMESCENTES COM LIGNINA

Beraldo, C. H. M.¹

Carvalho, V. C. de A.²

Silveira, M. R. da S.³

Baldissera, A. F.⁴

Ferreira, C. A.⁵

¹ Bacharel, Carlos Henrique Michelin Beraldo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, carlos.beraldo@ufrgs.br

² Graduando, Victória Cristine de Abreu Carvalho, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, vivi.cristine@hotmail.com

³ Mestre, Mauro Ricardo da Silva Silveira, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, mauro.ricardo@ufrgs.br

⁴ Pós-doutor, Alessandra Fiorini Baldissera, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, alebaldissera@hotmail.com

⁵ Pós-doutor, Carlos Arthur Ferreira, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, ferreira.carlos@ufrgs.br

Resumo

O aço carbono é amplamente utilizado como estrutura na construção civil. Este material funde a temperaturas próximas a 1500 °C, porém, começa a perder grande parte de suas propriedades mecânicas ao atingir temperaturas próximas a 500 °C, temperatura esta facilmente alcançada em incêndios convencionais. Sua proteção torna-se de grande importância para a preservação de suas propriedades. Revestimentos intumescentes são tecnologias eficientes de proteção passiva em incêndios para diferentes tipos de substratos. Tais revestimentos se caracterizam pela formação de uma camada carbonosa de baixa condutividade térmica quando expostos ao fogo. As tintas intumescentes são formuladas a partir de três compostos básicos: um agente de expansão, uma fonte de carbono e uma fonte ácida. Quando expostos ao aumento de temperatura, esses compostos sofrem reações consecutivas originando a camada carbonosa. A forma, composição e tamanho desta camada influencia na proteção antichama do substrato. O objetivo do presente estudo é avaliar a morfologia da camada carbonosa de revestimentos intumescentes a base de benzoxazina. Três formulações foram propostas variando-se a concentração de lignina e essas foram aplicadas sobre chapas de aço. Posteriormente, foram ensaiadas durante 30 minutos em ensaios de chama. As formulações foram caracterizadas através de termogravimetria (TGA) para verificação da estabilidade térmica e a camada carbonosa final foi caracterizada por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e microscopia óptica (MO). Não foi observada variação significativa na morfologia da camada entre as amostras, embora a amostra contendo a maior concentração de lignina apresentou maior quantidade de resíduo final.

Palavras-chave: Revestimentos intumescentes; Morfologia; Benzoxazina; Lignina.

MORPHOLOGY OF THE CHAR IN INTUMESCENT COATINGS WITH LIGNIN

Abstract

Carbon steel is widely used as a structure in civil construction. This material melts at temperatures near 1500 °C, but it begins to lose great part of its mechanical properties when reaching temperatures close to 500 °C, temperature easily reached in conventional fires. Its protection has a great importance for the preservation of its properties. Intumescent coatings are efficient methods for the passive fire protection for different types of substrates. These coatings are characterized by the formation of a low thermal conductivity char of when exposed to temperature increasing. Intumescent paints are formulated from three basic compounds: a blowing agent, a carbon source and an acid source. When exposed to the temperature rise, these compounds undergo consecutive reactions leading to the char. The shape, composition and size of this char influences the anti-flame protection of the substrate. The objective of the present study is to evaluate the char morphology of benzoxazine-based intumescent coatings. Three formulations were proposed by varying the concentration of lignin and these were applied on steel plates. Thereafter, they were tested for 30 minutes in flame tests. The formulations were characterized by thermogravimetry (TGA) to verify the thermal stability and the final char was characterized by scanning electron microscopy (SEM) and optical microscopy (MO). No significant variation was observed in the morphology between the samples, although the sample containing the highest concentration of lignin showed superior final residue quantity to the others.

Keywords: Intumescent coatings; Morphology; Benzoxazine; Lignin.

1 INTRODUÇÃO

A utilização de revestimentos intumescentes vem aumentando nos últimos anos como alternativa para a proteção passiva contra o fogo de diferentes estruturas. O aço estrutural é um material amplamente utilizado no setor da construção civil e que perde grande parte das suas propriedades mecânicas quando exposto a temperaturas próximas ou superiores a 500 °C, tornando estes tipos de revestimentos alternativas que se mostram cada vez mais viáveis ⁽¹⁾.

Três componentes básicos compõem a formulação das tintas intumescentes: uma fonte ácida, uma fonte de carbono e um agente de expansão ⁽²⁾. Normalmente são adicionados compostos retardantes de chama para aumentar a eficiência antichama do revestimento. A benzoxazina é um tipo de resina fenólica que apresenta grande interesse tecnológico devido as suas altas propriedades mecânicas, resistência química e por ser intrinsecamente retardante de chama ⁽³⁾. Por estes motivos, a benzoxazina apresenta-se como uma boa candidata para utilização como resina base de uma tinta intumescente.

A lignina é um composto vegetal que é subproduto do beneficiamento da celulose ⁽⁴⁾. Este composto é altamente aromático e apresenta heteroátomos, como o oxigênio, o que a torna um bom candidato para ser utilizado como fonte de carbono em revestimentos intumescentes ⁽⁵⁾. Sua utilização em sistemas retardantes de chama já foi estudada e se mostrou eficiente.

O objetivo do presente estudo foi verificar a influência da quantidade de lignina na morfologia da camada carbonosa formada após a queima de tintas intumescentes a base de resina benzoxazina. Para tal, análise termogravimétrica

(TGA) das tintas foi realizada para verificação de suas estabilidades térmicas e a camada carbonosa final foi caracterizada por microscopia óptica (MO) e microscopia eletrônica de varredura (MEV).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

Os revestimentos contêm os seguintes componentes em suas formulações: resina benzoxazina Araldite LZ 8291 N80 CI (Huntsman), plastificante/agente de cura Jeffamine ED-600 (Huntsman), polifosfato de amônio (APP) Exolit AP-422 (Clariant), ácido bórico 100% P.A (Synth), grafite expansível (GE) Grafexp 9560-150 (Nacional de Grafite) e lignina (Suzano).

2.2 Métodos

As tintas ensaiadas foram formuladas com as %, em massa seca, dos componentes presentes no Quadro 1.

Tinta	Resina (%)	Lignina (%)	Ác. Bórico (%)	APP (%)	GE (%)
BL5A10	65	5	10	12	8
BL10A10	60	10	10	12	8
BL15A10	55	15	10	12	8

Quadro 1. Formulação das tintas.

Os pós foram manualmente misturados e incorporados na resina através do dispersor modelo DISPERMAT N1 (WMA-GETZMANN GMBH) acoplado de um disco tipo Cowles, sob agitação de 6000 rpm durante uma hora. Ao final de 1 hora, o plastificante/agente de cura foi adicionado manualmente na proporção de 25 phr. As tintas foram aplicadas em chapas de aço carbono AISI 1010, previamente desengraxadas e lixadas com lixa #80. A espessura final dos revestimentos foi de $2,5 \pm 0,1$ mm. Após exposição de 7 dias ao ar, as amostras foram submetidas a ensaios de queima. Neste ensaio, as amostras foram fixadas a uma distância de 2,5 cm do bocal de um bico de Bunsen e expostas à uma chama alimentada por gás metano 99% (White Martins) gerada sob pressão constante de 1 bar. Ao final deste ensaio, houve formação de uma camada carbonosa em todas as formulações. As temperaturas máximas dos substratos alcançadas no ensaio de queima podem ser verificadas na Tabela 1.

Tabela 1. Temperaturas máximas dos substratos.

Amostra	Temperatura (°C)
Não-revestida	456
BL5A10	226
BL10A10	210
BL15A10	201

A camada carbonosa foi caracterizada por MO e MEV. A MO foi realizada com auxílio do microscópio digital Dino-lite Edge AM7915MZT. O MEV foi realizado em um equipamento Phenom World modelo Pro X, com tensão de aceleração de 15 kV. TGA foi utilizada para verificar a estabilidade térmica das tintas, sendo realizada no

equipamento TGA Q50 (TA Instruments) a uma taxa de aquecimento de 20 °C.min⁻¹, com faixa de temperatura de 25°C até 900°C em atmosfera inerte.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Estabilidade térmica dos revestimentos

TGA das amostras foi realizada para verificação da estabilidade térmica das tintas. Os termogramas obtidos podem ser visualizados na Figura 1 e no Quadro 2 estão informações obtidas através dos termogramas.

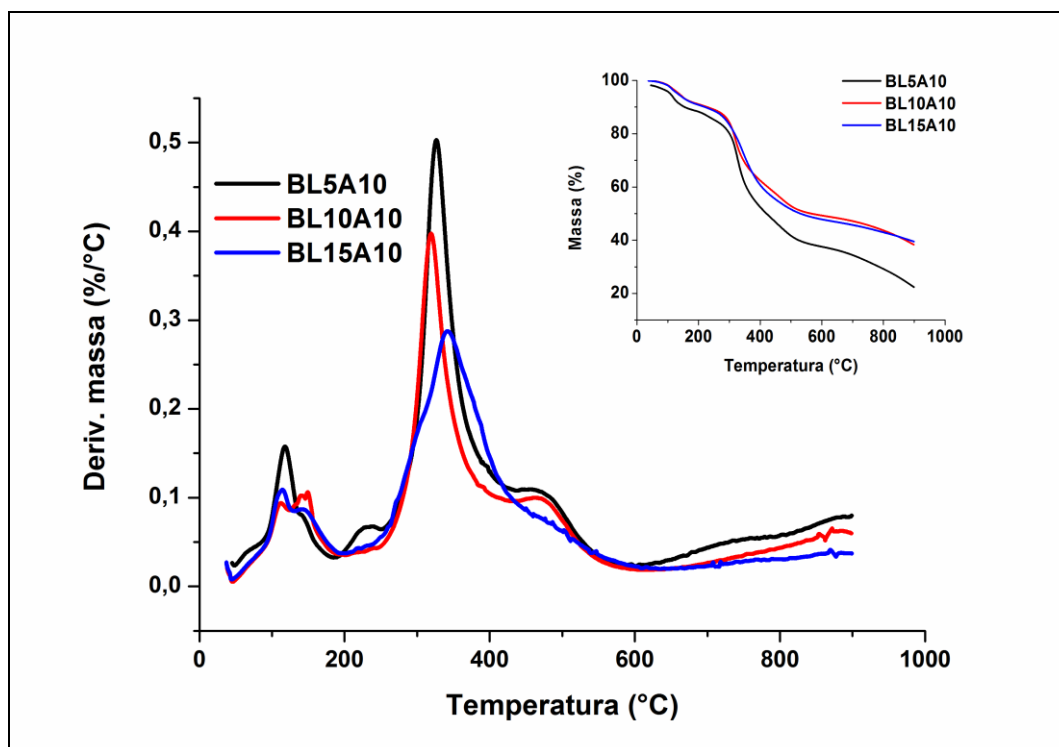


Figura 1. Termogramas das tintas.

Amostra	Resíduo em 900 °C (%)	Picos de temperatura de degradação máxima (°C)
BL5A10	22,4	117,9/227,7/326,5/454,7
BL10A10	38,3	149,1/237,0/318,9/471,9
BL15A10	39,5	114,2/269,8/341,2/486,5

Quadro 2. Informações obtidas através dos termogramas.

A partir da Figura 1, é possível visualizar diferentes estágios de degradação para as formulações propostas. Observa-se a partir do Quadro 2 que o aumento da quantidade de lignina na formulação leva a um aumento na quantidade do resíduo final. Estudos já mostraram que o aumento da quantidade de resíduo de um revestimento intumescente está relacionado com o aumento da eficiência antichama (6,7).

Os picos de temperatura de degradação máxima entre 114 – 150 °C são relacionados à degradação do ácido bórico, que ao se desidratar forma B₂O₃ (8). Os eventos localizados entre 225 – 270 °C estão relacionados com a degradação do

grafite expansível, que libera gases como SO_2 e CO_2 quando o ácido sulfúrico interlamelar é degradado ⁽⁹⁾. Os eventos localizados entre 300 – 400 °C estão relacionados às degradações da cadeia principal da resina benzoxazina e também ao primeiro estágio de degradação do APP, formando ácido fórfico e liberando gases como amônia ^(10,11). O segundo estágio de degradação ocorre em temperaturas entre 400 – 500 °C devido à degradação de cadeias de fosfato ⁽¹²⁾.

3.2 Morfologia das camadas carbonosas

As superfícies das camadas carbonosas formadas após o ensaio de queima para cada formulação podem ser visualizadas na Figura 2.

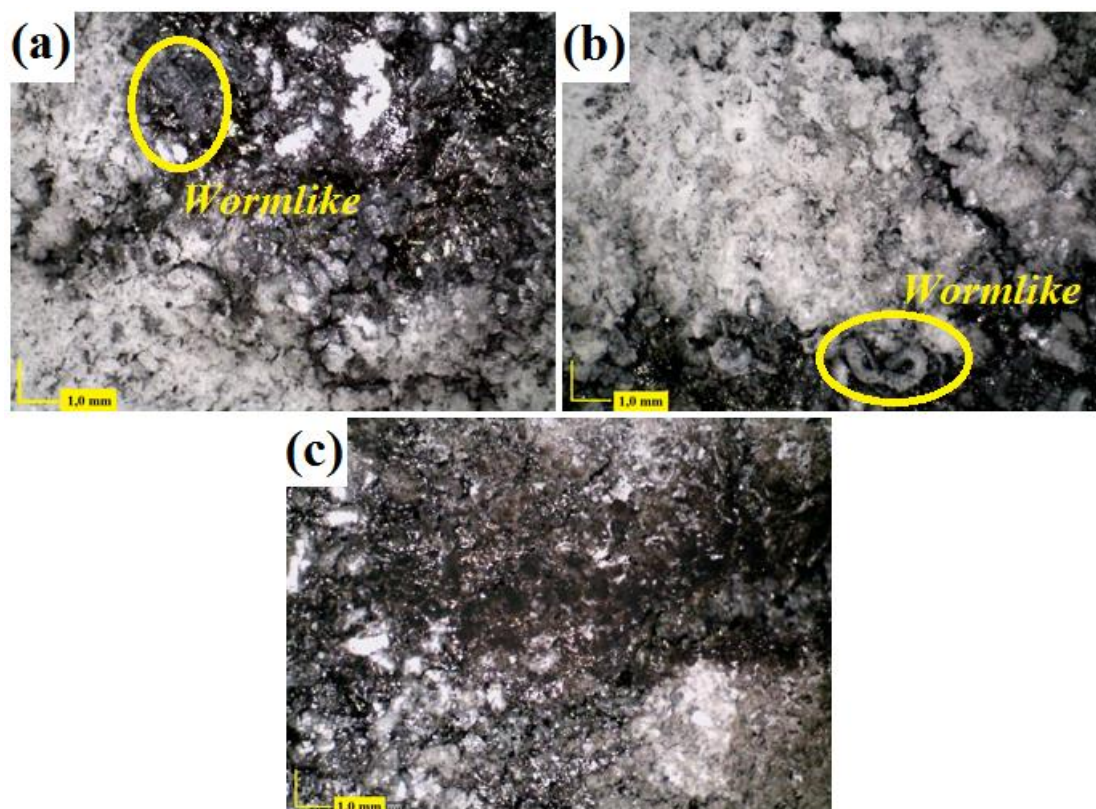


Figura 2. Superfície da camada carbonosa formada após ensaio de chama para as amostras (a) BL5A10, (b) BL10A10 e (c) BL15A10.

A partir das imagens de microscopia óptica presentes na Figura 2 é possível observar que não há diferença significativa entre as morfologias das camadas carbonosas formadas após a queima de cada revestimento. Este resultado é coerente com os valores de temperatura máxima de cada substrato, presentes na Tabela 1, que foram bem próximos entre si. Em geral, foram observadas estruturas coesas, propriedade esta que auxiliam na eficiência antichama de um revestimento intumescente ⁽⁶⁾. Também pode-se visualizar a presença de *wormlikes*, estruturas com formato “vermicular” típicas da expansão do grafite expansível quando submetido ao aumento de temperatura ⁽¹³⁾.

A seção transversal de cada camada foi analisada por MEV e estas podem ser visualizadas na Figura 3.

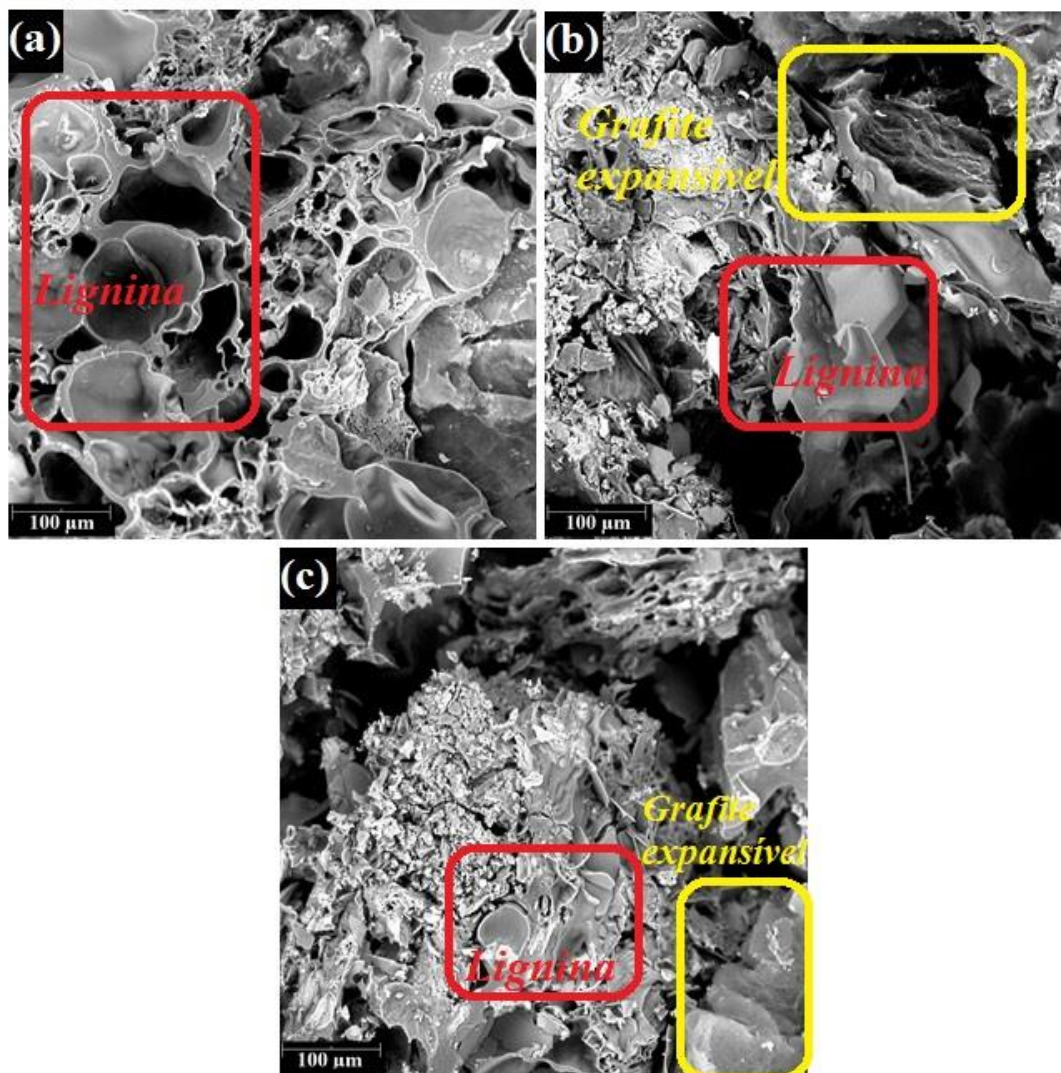


Figura 3. MEV da seção transversal da camada carbonosa das amostras (a) BL5A10, (b) BL10A10 e (c) BL15A10.

A partir das imagens de MEV pode-se observar que a estrutura das camadas é coesa e que há presença de poros. Não foram verificadas diferenças significativas entre as morfologias das seções transversais das amostras. Também pode-se visualizar as estruturas típicas da lignina e do grafite expansível^(13,14). A presença da estrutura típica da lignina pode indicar que este componente não foi totalmente degradado durante o ensaio de chama. Esta observação é coerente com os valores da Tabela 1, onde a temperatura máxima atingida pelas chapas recobertas foi próxima a 230 °C e a temperatura máxima de degradação da lignina é 330 °C⁽¹⁵⁾. A presença de estruturas lamelares indica que o grafite expansível não teve sua propriedade de expansão afetada pelos demais componentes presentes na formulação. Ressalta-se que esta expansão ocorre devido ao afastamento interlamelar do grafite causado pela liberação de SO₂ e CO₂ quando o ácido sulfúrico presente entre as lamelas é degradado pelo aumento de temperatura⁽¹⁵⁾.

4 CONCLUSÃO

O objetivo do estudo foi avaliar a influência da concentração de lignina na morfologia da camada carbonosa formada após ensaio de queima. TGA das tintas

indicaram que o aumento de concentração de lignina influencia na quantidade de resíduo final, sendo que quanto maior a quantidade de lignina na formulação maior a quantidade de resíduo final. Porém, as análises de MO e MEV evidenciaram que o aumento da concentração de lignina na formulação não influencia significativamente na morfologia da camada carbonosa formada, sendo coerente com os resultados de temperatura no ensaio de queima realizado.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq e à CAPES pelo financiamento da pesquisa. Também agradecem à Huntsman pelo fornecimento da resina benzoxazina e do componente Jeffamine, à Suzano pelo fornecimento da lignina e a Nacional de Grafite pelo grafite expansível.

REFERÊNCIAS

- 1 JIMENEZ, M.; DUQUESNE, S.; BOURBIGOT, S. Characterization of the performance of an intumescent fire protective coating. **Surface and Coatings Technology**, v. 201, n. 3–4, p. 979–987, 2006.
- 2 WESOŁOWSKI, M. Thermal decomposition of talc: A review. *Thermochimica Acta*, v. 78, n. 1–3, p. 395–421, 1984.
- 3 CHEN, Q.; XU, R.; YU, D. Multiwalled carbon nanotube/polybenzoxazine nanocomposites: Preparation, characterization and properties. **Polymer**, v. 47, n. 22, p. 7711–7719, 2006.
- 4 XU, R. et al. Lignin depolymerization and utilization by bacteria. **Bioresource Technology**, v. 269, n. July, p. 557–566, 2018.
- 5 PURI, R. G.; KHANNA, A. S. Intumescent coatings: A review on recent progress. **Journal of Coatings Technology Research**, v. 14, n. 1, p. 1–20, 2017.
- 6 DE SÁ, S. C. et al. Environmentally friendly intumescent coatings formulated with vegetable compounds. **Progress in Organic Coatings**, v. 113, n. August, p. 47–59, 2017.
- 7 HAZWANI DZULKAFI, H. et al. Effects of talc on fire retarding, thermal degradation and water resistance of intumescent coating. **Applied Clay Science**, v. 146, p. 350–361, 2017.
- 8 ZHAO, H.; PANG, X.; LIN, R. Preparation of boric acid modified expandable graphite and its influence on polyethylene combustion characteristics. **Journal of the Chilean Chemical Society**, v. 61, n. 1, p. 2767–2771, 2016.
- 9 DUQUESNE, S. et al. Thermal degradation of polyurethane and polyurethane/expandable graphite coatings. **Polymer Degradation and Stability**, v. 74, n. 3, p. 493–499, 2001.
- 10 CAMINO, G. et al. Study of the mechanism of intumescence in fire retardant polymers: Part VI-Mechanism of ester formation in ammonium polyphosphate-pentaerythritol mixtures. **Polymer Degradation and Stability**, v. 12, n. 3, p. 213–228, 1985.
- 11 HEMVICHIAN, K. et al. Thermal decomposition processes in polybenzoxazine model dimers investigated by TGA – FTIR and GC – MS. **Polymer Degradation and Stability**, v. 76, p. 1–15, 2002.
- 12 GAO, F.; TONG, L.; FANG, Z. Effect of a novel phosphorous-nitrogen containing intumescent flame retardant on the fire retardancy and the thermal behaviour of poly(butylene terephthalate). **Polymer Degradation and Stability**, v. 91, n. 6, p. 1295–1299, 2006.
- 13 KRASSOWSKI, D. W.; HUTCHINGS, D. A.; QURESHI, S. P. Expandable Graphite Flake as an Additive for a New Flame Retardant Resin. **GrafTech International Holdings Inc**, p. 9, 2012.

- 14 BRZONOVA, I. et al. Production of lignin based insoluble polymers (anionic hydrogels). **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1–13, 2017.
- 15 WATKINS, D. et al. Extraction and characterization of lignin from different biomass resources. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 4, n. 1, p. 26–32, 2015.

NOVA GERAÇÃO DE REVESTIMENTOS PARA FERRAMENTAS DE CONFORMAÇÃO A FRIO: UMA ABORDAGEM EM BUSCA DE UM TRIBOSSISTEMA IDEAL PARA UMA PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL

Sumny, M. A. H..¹

Bergmann, C. P. ²

¹ Engenheiro de materiais, Matheus Antonio Heck Sumny, PPGE3M UFRGS, mattisumny@yahoo.com.br.

² Professor Doutor, Carlos Pérez Bergmann, PPGE3M UFRGS, bergmann@ufrgs.br

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

Resumo

Lubrificantes e aditivos nocivos ao meio ambiente são aplicados para reduzir o atrito entre peças e ferramentas, em processos tribológicos comuns na indústria de transformação metal-mecânica, como no forjamento por exemplo, o que é questionável por razões ecológicas, econômicas e legislativas. Num mundo que busca cada vez mais a sustentabilidade e processos verdes, há uma forte demanda por uso de lubrificantes biodegradáveis e/ou revestimentos inteligentes, de modo a permitir processos de transformação de metal em ambientalmente amigáveis. Assim, o objetivo deste trabalho é dar um passo em direção a um design de sistema tribológico ideal, que permita a conformação a frio a seco em detrimento da utilização de um tribossistema tradicional, que utiliza lubrificantes agressivos ao meio-ambiente e revestimentos duros, de alto coeficiente de atrito; ao se revisar a bibliografia, em termos de uma abordagem de baixo atrito e baixa taxa de desgaste, e através da caracterização de revestimentos nanoestruturados inovadores, depositados por *physical vapor deposition* (PVD). Os resultados indicam que a abordagem sugerida é satisfatória para substituição dos tradicionais tribossistemas utilizados na indústria de conformação e deve ser aprofundado e testado em escala industrial em trabalhos futuros. Esse passo tem potencial significativo para a redução de resíduos e de custos em nos processos de fabricação de larga escala que envolvam sistemas tribológicos.

Palavras-chave: PVD; nanorevestimentos; forjamento a frio, forjamento a seco.

A NEW GENERATION FOR COLD METAL FORMING DYE'S: AN APPROUCH FOR A IDEAL TRIBOSSISTEM

Abstract

Lubricants and additives harmful to the environment are applied to reduce friction between parts and tools, in common tribological processes in the metal-mechanical industry, such as forging, for example, which is questionable for ecological, economic and legislative reasons. In a world that increasingly seeks sustainability and green processes, there is a strong demand for use of biodegradable lubricants and / or intelligent coatings, to allow metal forming processes to be environmentally friendly. Thus, the aim of this work is to take a step towards an ideal tribological system

design, which allows dry-cold forming to the detriment of the use of a traditional tribosystem, which uses environmentally aggressive lubricants and hard coatings of high coefficient of friction; by reviewing the literature in terms of a low friction and low wear rate approach and by characterizing innovative nanostructured coatings deposited by physical vapor deposition (PVD). The results indicate that the suggested approach is satisfactory for replacing the traditional tribosystems used in the forming industry and should be further developed and tested on an industrial scale in future works. This step has significant potential for reducing waste and costs in large-scale manufacturing processes involving tribological systems.

Key words: PVD, nanocoatings, cold forming, dry metal forming.

1 INTRODUÇÃO

Em processos industriais de transformação de metal há uma forte demanda por uma produção limpa, ambientalmente amigável e economicamente viável. Um bom exemplo são os estudos extensivos que estão constantemente sendo realizados no Centro de Pesquisa Colaborativa 442 (SFB 442) intitulado "Sistemas tribológicos amigáveis ao meio ambiente", que foi estabelecido pela Fundação Alemã de Pesquisa (DFG) ⁽¹⁾.

Uma produção sustentável pode ser entendida como sendo a incorporação, ao longo de todo o ciclo de vida de bens e serviços, das melhores alternativas possíveis para minimizar impactos ambientais e sociais. Por esta abordagem os impactos ambientais e riscos à saúde humana podem ser reduzidos, prevenindo-os em vez de mitigar, resultando em efeitos econômicos e sociais positivos. A produção sustentável, também, pensa o ciclo completo e procura alongar a vida útil dos produtos, além de reaproveitar ao máximo possível os insumos da reciclagem em novas cadeias produtivas ⁽²⁾.

Entre estes processos industriais está o forjamento a frio, que é responsável pela fabricação em massa de, geralmente, peças de dimensão reduzida e de maior precisão dimensional e acabamento superficial, que reduz operações subsequentes de fabricação – como usinagem, laminação, polimento, etc – chegando-se a níveis de produtos acabados (*net shape*) ou próximo a sua forma final (*near net shape*). É realizado a temperatura ambiente e sempre acompanhado do encruamento do metal, através das interações das discordâncias e destas com outras barreiras, como contorno de grão e partículas de segunda fase, que impedem sua deformação plástica através da rede cristalina. Resulta no aumento na resistência mecânica, por trabalho a frio e produz componentes com elevada resistência a fadiga e tenacidade, devido às tensões residuais compressivas inerentes ao processo ⁽³⁾.

Apesar de ter estas vantagens em relação ao produto final, em benefício de uma produção sustentável, o forjamento a frio somente se tornou economicamente viável a partir do uso de um pré-tratamento na peça de trabalho, ou *blank*, para contornar o problema do atrito, inerente ao contato deste com a ferramenta. Como as pressões podem chegar a 3000 MPa em algumas áreas de contato, a partir da velocidade relativa entre a ferramenta e material de trabalho (que ocorre ao ultrapassar sua tensão de escoamento), geralmente uma camada de conversão de fosfato de zinco é utilizado para a ancoragem de um lubrificante ⁽⁴⁾.

Lubrificantes e seus aditivos se tornam quase indispensáveis para altas taxas de produção com um baixo consumo de energia e desgaste de ferramentas.

Normalmente são empregados sobre a camada de conversão de fosfato, sabões a base de estearato, com ou sem reação, óleos minerais, lubrificantes sólidos (grafite e MoS_2) além de polímeros – Figura 1. Estes processos de pré-tratamento para lubrificação da peça de trabalho consomem uma considerável porção de energia e gera altos volumes de efluentes líquidos e resíduos não inertes. São nocivos ao meio ambiente e aos trabalhadores, o que é questionável por razões éticas, ecológicas, econômicas e legislativas.



Figura 1. Forjamento a frio e o uso de lubrificantes⁽¹¹⁾.

Os filmes finos depositados nas ferramentas por processos de deposição física vapor (PVD) e deposição química vapor (CVD), e suas variações, tornaram-se mais visíveis devido às suas promissoras propriedades mecânicas, físicas e químicas, tornando-as praticamente úteis numa ampla gama de temperaturas, cargas mecânicas e condições ambientais. Atuam no sentido de aumentar a resistência ao desgaste e diminuir o atrito no tribossistema gerado no deslocamento relativo entre a superfície do blank e do revestimento.

Revestimentos de baixo coeficiente de atrito, como materiais lamelares como grafite, MoS_2 ; metais macios, como prata e ouro – de baixo custo benéfico; ou bulk de óxidos metálicos (MoO_3), podem substituir lubrificantes comuns em processos de fabricação, mas atualmente eles são caracterizados por suas propriedades mecânicas precárias. Por outro lado, revestimentos cerâmicos, como CrN e TiN, foram utilizados nas últimas três décadas por sua alta dureza e inércia química, alta resistência à oxidação e baixa taxa de desgaste tem, infelizmente, coeficiente de atrito elevado. A idéia principal era revestir as superfícies de dispositivos e ferramentas submetidas ao atrito em aplicação com materiais de módulo de Young, dureza e resistência ao desgaste elevados ⁽⁵⁾.

O conceito-chave comum a esses desenvolvimentos é a melhoria da dureza da superfície, porém o mesmo deve promover a resistência ao desgaste e baixo coeficiente de atrito. Este conceito, às vezes, é verdadeiro nos campos tribológicos reais. No entanto, quando há menos ou nenhuma quantidade de lubrificantes presente na interface, apenas o revestimento duro não se torna uma boa alternativa para reduzir o volume de desgaste. Sugere-se que uma camada macia lubrificante deve estar presente, ou seja transformada, na camada limite tribológica da interface entre a matriz de conformação, para aplicações semi-secas ou secas ⁽⁶⁾.

Deste modo, o objetivo deste trabalho é apresentar uma abordagem, através da revisão da literatura, visando o desenvolvimento de um sistema tribológico ideal, para uma possível conformação a frio a seco, por revestimentos finos depositados geralmente por PVD sobre ferramentas, no intuito de diminuir o impacto ambiental causado pelo uso de lubrificantes nocivos ao ambiente. Também apresenta resultados em ensaios de atrito e desgaste em filmes finos, a fim de guiar a constituição de um revestimento tribológico ideal.

2 DESGASTE E ATRITO DE FERRAMENTAS NO FORJAMENTO A FRIO

Resistência ao atrito e desgaste não são propriedades intrínsecas do material, mas são características do sistema de engenharia (tribosistema), podendo causar perdas de energia e material, respectivamente. Atrito é a resistência ao movimento e, aumenta com a interação da área de contato real dos sólidos. No forjamento a frio, quando há lubrificação insuficiente, ou não há, o primeiro mecanismo de desgaste e responsável pela falha em serviço de ferramentas é a adesão do material da peça de trabalho. A medida que as forças de forjamento aumentam o coeficiente de atrito no processo também aumenta, e a qualidade superficial do produto forjado diminui até o ponto de restringir o fluxo do material, impossibilitando a produção de itens semi ou acabados ⁽³⁾.

A adesão inicialmente causa arranhões na superfície da ferramenta que entrou em contato com o *blank*, causando sua diminuição da vida útil ao alternar a tensão superficial no processo, acarretando em fadiga superficial, iniciação e crescimento de trincas até o, possível, colapso da ferramenta (Figura 2) ⁽⁴⁾. As condições tribológicas que regem o processo de desgaste e atrito são principalmente influenciadas pela pressão de contato entre *blank* e ferramenta, e a velocidade relativa entre os dois corpos sólidos. A pressão de contato no processo depende da tensão de escoamento do material de trabalho e do valor do coeficiente de atrito. Esta pressão aumenta quando dois picos de rugosidade se encontram e, durante as altas pressões exercidas no processo pela ferramenta, o contato com a superfície do material de trabalho é completa: não existem gaps de vales e picos devido ao valor muito elevado perante a tensão de escoamento deste material ⁽⁴⁾.

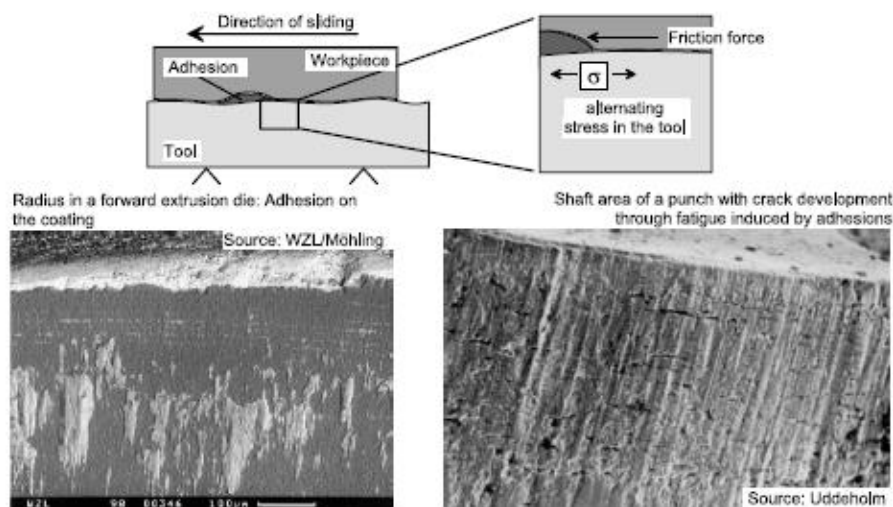


Figura 2. Desenvolvimento da adesão em ferramentas e seus efeitos prejudiciais ⁽⁴⁾.

Modelos que descrevem atrito e processos de desgaste em revestimentos para ferramentas, para aplicações em escala industrial de conformação a frio a seco, devem ser desenvolvidas e discutidas a fim de correlacionar suas propriedades perante ensaios laboratoriais e seu comportamento no processo em condições reais.

Uma importante propriedade são as características mecânicas dos revestimentos que governam os processos microtribológicos, porém o material do substrato (corpo da ferramenta), tem grande influência no tribossistema como suporte a essas propriedades. Seu módulo de elasticidade (E) é uma boa medida de como o revestimento se comporta quando submetido as tensões de trabalho: se alta demais, microtrincas podem surgir e levar o revestimento a falha por fadiga. Se formulado para ter um baixo E, deve diminuir a tensão total na superfície e, portanto, potencialmente aumentar a vida útil do revestimento. A fragilidade do revestimento, analisado através da resistência a fratura em indentações em testes de dureza, dá uma ideia da adesão ao substrato e do comportamento frente as pressões do processo ⁽⁴⁾.

Para o critério de resistência ao desgaste dos revestimentos, ensaios tribológicos pino-no-disco são utilizados como uma maneira de reproduzir as condições do tribossistema entre ferramenta e peça de trabalho, das operações de forjamento ⁽⁷⁾. Determina-se assim também a curva de coeficiente de atrito *versus* tempo ou velocidade linear ou dimensão linear da tribocamada. Outra alternativa para determinação do atrito no tribossistema de forjamento é o ensaio de compressão do anel ⁽³⁾⁽¹⁰⁾.

3 DESIGN DE UM REVESTIMENTO TRIBOLÓGICO IDEAL PARA CONFORMAÇÃO A FRIO

Para um processo de conformação a frio a seco viável, pode-se desenvolver um sistema tribológico baseado em um revestimento para matrizes com propriedades otimizadas. As condições de trabalho exigem resistência a temperaturas de, aproximadamente, 400°C e pressões de contato maiores que 3000 MPa, expondo o revestimento e o material base a altos esforços mecânicos ⁽⁴⁾ na sua denominada camada limite da tribologia, onde o desgaste adesivo é o principal mecanismo envolvido.

Em busca de uma produção limpa, a literatura indica a utilização de óleos mistos ou lubrificantes solúveis em água. Essas modificações de processos ainda são de fim de tubo, pois apesar de ser ecologicamente amigável por diminuir o consumo de lubrificantes a base de óleos ⁽⁶⁾ e compostos de fosfato e sabão ⁽⁴⁾, certamente estão muito próximas de serem descontinuadas pela demanda acentuada de minimização de resíduos e subprodutos do processo.

As condições de engenharia necessárias a um revestimento tribológico ideal podem ser resumidas através da Tabela 1. A partir do primeiro item a ser satisfeito, este revestimento indica que não pode ocorrer modos de desgaste adesivo, hipoteticamente, numa faixa relativamente ampla de pressão normal e velocidade de deslizamento. A supressão do desgaste adesivo nos regimes de alta pressão é muito importante para processos de forjamento a frio a seco ⁽⁶⁾. Outros fatores como robustez (manutenção das propriedades em diferentes condições de pressão e velocidade de deslizamento), alta produtividade e tolerância a falha devem ser observados.

Tabela 1. Condições de engenharia requeridas para um revestimento tribológico ideal.

Demanda	Condição de engenharia requerida para um revestimento tribológico ideal
Resposta tribológica inteligente	- Baixo volume de desgaste do revestimento; - Baixo ataque do material de trabalho ou contra-peça;
Robustez confiável	- Indiferença a altas pressões normais no <i>design</i> ; - Pouca mudança do comportamento em um grande intervalo de velocidade relativa de deslizamento
Alta produtividade	- Trabalho em altas velocidades - Relativa indiferença a altas deformações
Tolerância a falha	- Pouco ou nenhuma suscetibilidade a danos superficiais

Uma boa iniciativa para contornar as demandas necessárias ao tribossistema seria investigar o uso de revestimentos autolubrificantes. Três principais abordagens típicas atuais são listadas na Tabela 2. Na primeira abordagem, lubrificantes sólidos como o MoS₂ (dicalcogenetos de metais de transição – TMD) são incorporados a revestimentos metálicos ou cerâmicos, ou pulverizados sobre o substrato através de diversas técnicas, como CVD e PVD. Deste modo, o baixo estado de atrito é sustentado até que cada MoS₂ seja cominuída e ejetada do sistema tribológico ⁽²⁾⁽⁵⁾⁽⁹⁾. Na segunda abordagem, os revestimentos de carbono tipo diamante (DLC), enriquecidos com hidrogênio ou silício, de baixo coeficiente de atrito e a alta dureza de superfície, é mais um candidato para o uso em de conformação a frio ⁽⁶⁾⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾. Na terceira abordagem, a região superficial do substrato, ou a superfície do revestimento protetor, é modificada para uma camada macia deformável, para o relaxamento localizados dos esforços cisalhantes na camada limite tribológica. Uma vez que a verdadeira área de contato entre ferramenta/blank é auto-lubrificada por esta camada modificada e, assim, baixo atrito e baixa taxa de desgaste podem ser alcançados ⁽⁶⁾.

Tabela 2. Principais abordagens e propriedades para um revestimento tribológico com mecanismo autolubrificante.

Requerimento para um revestimento tribológico ideal	Uso positivo de lubrificantes sólidos	Diamond like Carbon (DLC)	Modificação química/física da superfície
Resposta tribológica inteligente	- Lubrificidade sólida num sistema fechado;	- Polimerização <i>in situ</i> de revestimentos hidrogenados	- Formação <i>in situ</i> de uma camada de baixo E
Robustez confiável	- Baixa tensão de cisalhamento do lubrificante sólido	- Possibilidade de diferentes designs de DLCs em cada condição de desgaste	- Suscetibilidade a oxidação perante umidade
Alta produtividade	- Adaptável a trabalho em baixas velocidades	- Velocidades de trabalho adaptáveis perante a um limite de temperatura	- Condição de trabalho adaptável à falha do revestimento
Tolerância a falha	- Baixo incremento de rugosidade superficial	- Baixa tolerância a falha superficial	- Baixo incremento da superfície falhada

3.1 DIAMOND LIKE CARBON (DLC):

Os revestimentos DLC são caracterizados pela sua rede desordenada de átomos de carbono com uma mistura de ligações sp^3 e sp^2 , de maneira amorfa, conduzem uma abordagem para se alcançar as condições tribológicas ideais atuais. Conforme ocorre o aumento de ligações sp^3 , o módulo elástico e a densidade aumentam, conforme Figura 3.

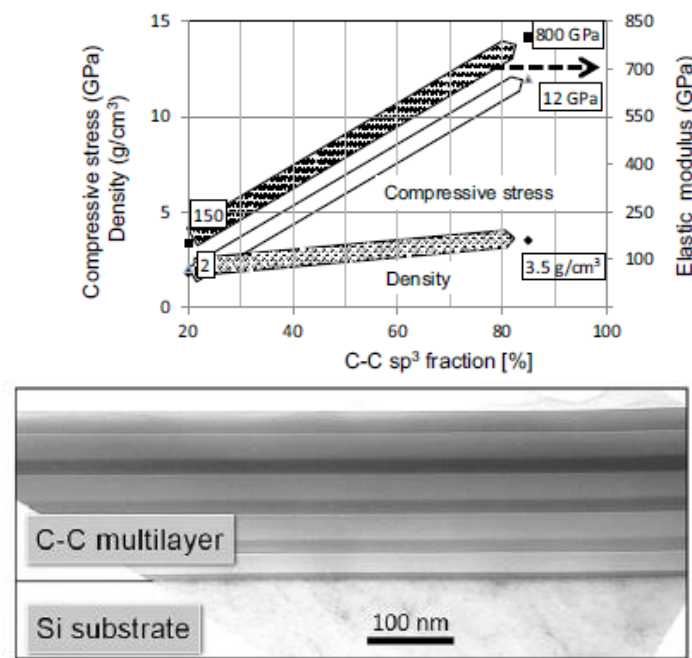


Figura 3. Gráfico do comportamento geral da densidade, tensões e módulo de elasticidade E vs. Quantidade de sp^3 na estrutura amorfa e seção transversal analisada por Microscopia eletrônica de transmissão, onde a multicamada C-C é organizada em diferentes porções de ligações sp^3 e sp^2 , quanto mais escura maior a quantidade de sp^3 presentes ⁽¹²⁾.

Em particular, com a inclusão positiva de hidrogênio ou elementos metálicos em matrizes de filmes DLC, uma película de lubrificante na tribocamada pode ser formada *in situ*, através da polimerização induzida durante o desgaste que atua reduzindo drasticamente o coeficiente de atrito ⁽⁹⁾.

O desempenho tribológico dos revestimentos DLC aplicados a ferramentas de conformação de chapas pode ser comparado aos utilizados tradicionalmente na indústria, na condição de lubrificado e a seco. Os valores experimentais do coeficiente de atrito, o comportamento de desgaste dos revestimentos e sua adesão ao substrato foram investigados. Os resultados mostram que, em condições lubrificadas, o coeficiente de atrito não é significativamente influenciado pelos diferentes revestimentos; e a seco, apenas os revestimentos DLC exibem valores baixos de atrito comparáveis às das condições lubrificadas. Porém, o desgaste e os testes de adesão do revestimento revelam que o revestimento CrN-DLC apresenta os melhores desempenhos, conforme figura 4 ⁽¹¹⁾ ⁽¹²⁾.

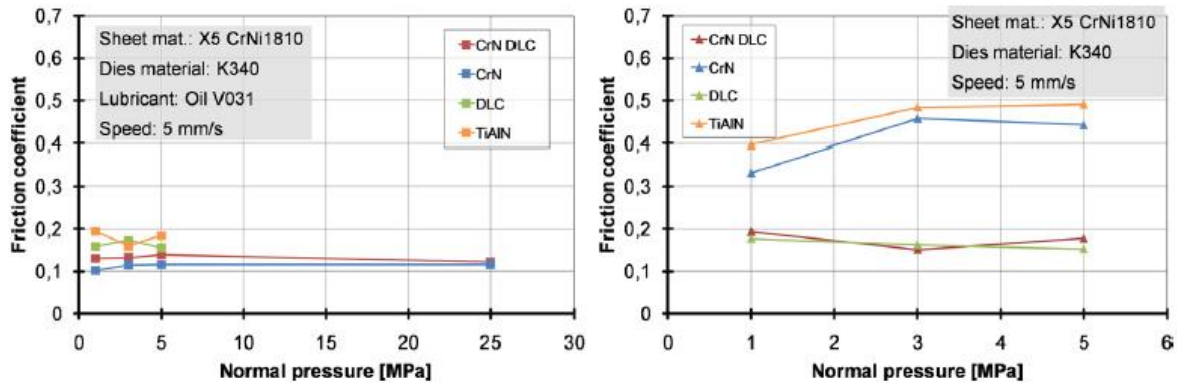


Figura 4. Resultados de ensaios de coeficiente de atrito em diferentes condições de pressão normal em mio lubrificado (esquerda) e a seco (direita) ⁽¹¹⁾.

3.2 LUBRIFICANTES SÓLIDOS EM FILMES FINOS

Utilizando-se a Ag como componente em nanoescala em revestimentos ternários CrN-Ag, apresentou-se uma solução atraente, onde o CrN proporciona alta dureza e Ag fornece lubrificação. O comportamento de autolubrificação foi relatado e atribuído à presença de nanoclusters de Ag na superfície do revestimento. Estes revestimentos formam uma nanocroestrutura colunar densa, onde Ag é distribuído homogeneamente na matriz CrN onde a autolubrificação do Ag foi provado por meio de testes tribológicos, que mostraram que quanto maior o teor de Ag no revestimento, menor o atrito e a taxa de desgaste à temperatura ambiente ⁽⁵⁾.

Novas abordagens, pela modificação da estrutura química através da impregnação de cloro em filmes cerâmico, estão sendo propostas como um novo tipo de design de revestimento tribológico. O efeito da autolubrificação nas propriedades tribológicas é conclusiva, pois o seu baixo estado de atrito e desgaste pode ser reproduzido ao nível tribológico semelhante à lubrificação mista por lubrificantes sólidos e com revestimento inalterado, conforme figura 5. Comprova-se também, que esta autolubrificação, pode ser sustentada durante todo o processo até o revestimento TiN original se esgotar. E, uma vez que a quantidade desperdiçada de cloro é insignificamente pequena, nenhuma carga ambiental pode ocorrer por emissão direta de resíduos de desgaste, incluindo cloro. Este estado de baixo desgaste e atrito na camada limite tribológica pode ser introduzido por uma dose relativamente baixa de 1×10^{-17} íons/cm² de cloro, que pode ser mantida até o filme original estar esgotado, estabelecendo pilares para utilização em projetos industriais de conformação a frio/quente ⁽⁶⁾.

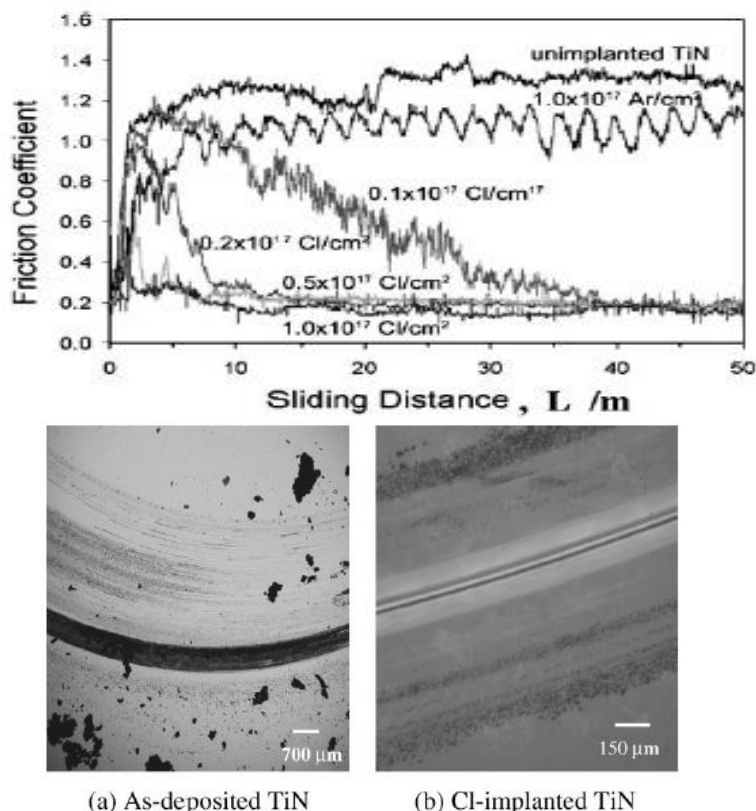


Figura 5. Resultados de ensaios de desgaste. Acima o gráfico do coeficiente de atrito pela distância de deslizamento. Abaixo as figuras da tribocâmara (a) TiN como depositado e (b) TiN com implante iônico de Cl, menos resíduos no design de revestimento apresentado em b ⁽⁶⁾.

Os dicalcogenetos de metais de transição (TMD), como MoS₂ ou WS₂, são excelentes lubrificantes no vácuo e em atmosferas secas. No entanto, seu comportamento tribológico deteriora-se na presença de vapor d'água devido à sua alta cinética de oxidação. Além disso, os revestimentos de TMD depositados por pulverização catódica são macios e porosos e assim detêm uma limitada capacidade de suportar tensões ⁽⁹⁾.

Este material possui uma característica intrínseca lubrificante devido a sua estrutura cristalina altamente anisotrópica, que consiste em camadas de átomos de molibdênio (Mo) localizadas entre dois enxofre (S). Existe uma forte ligação covalente entre os átomos, mas as camadas estão ligeiramente ligadas através da força, comparativamente fraca, de Van der Waals. Esta estrutura é responsável pela fraqueza mecânica interlamelar com baixa resistência ao cisalhamento, o que resulta em um efeito lubrificante macroscópico ⁽¹³⁾.

Devido um baixo coeficiente de atrito extremo (CoF), o MoS₂ pode ser usado como revestimento lubrificante para mecanismos que funcionem sob condições ambientais severas, por exemplo, no espaço e aplicações nucleares. Entre todas as tentativas de melhorar as propriedades mecânicas e tribológicas das TMD (por exemplo, co-sputtering com metais ou compósitos), o design de revestimentos de TMD co-depositados com carbono (MoSeC, WSC, por exemplo) chama atenção pela sua estrutura auto-adaptativa única. Tais revestimentos produzem, durante o deslizamento, uma fina camada tribológica de TMD com planos basais paralelos à direção de deslizamento; a camada limite tribológica simultaneamente protege o revestimento de ataques ambientais e proporciona baixo atrito. A espessura da

camada é tipicamente inferior a 10 nm, o que torna sua análise muito desafiadora (13).

3.3 MODIFICAÇÃO QUÍMICA FÍSICA DA SUPERFÍCIE DE REVESTIMENTOS

Nesta área, também foram realizados estudos sobre a evolução do processo de auto organização com formação de estruturas dissipativas em condições de atrito extremas, associadas à usinagem a seco de alto desempenho de aços endurecidos. As transformações superficiais contínuas, nos revestimentos PVD baseados em TiAlCrSiYN, ocorrem durante o estágio de desgaste quando o processo de auto-organização começa e finaliza. Uma metalografia e análise da distribuição dos átomos presentes no revestimento estão na Figura 6.

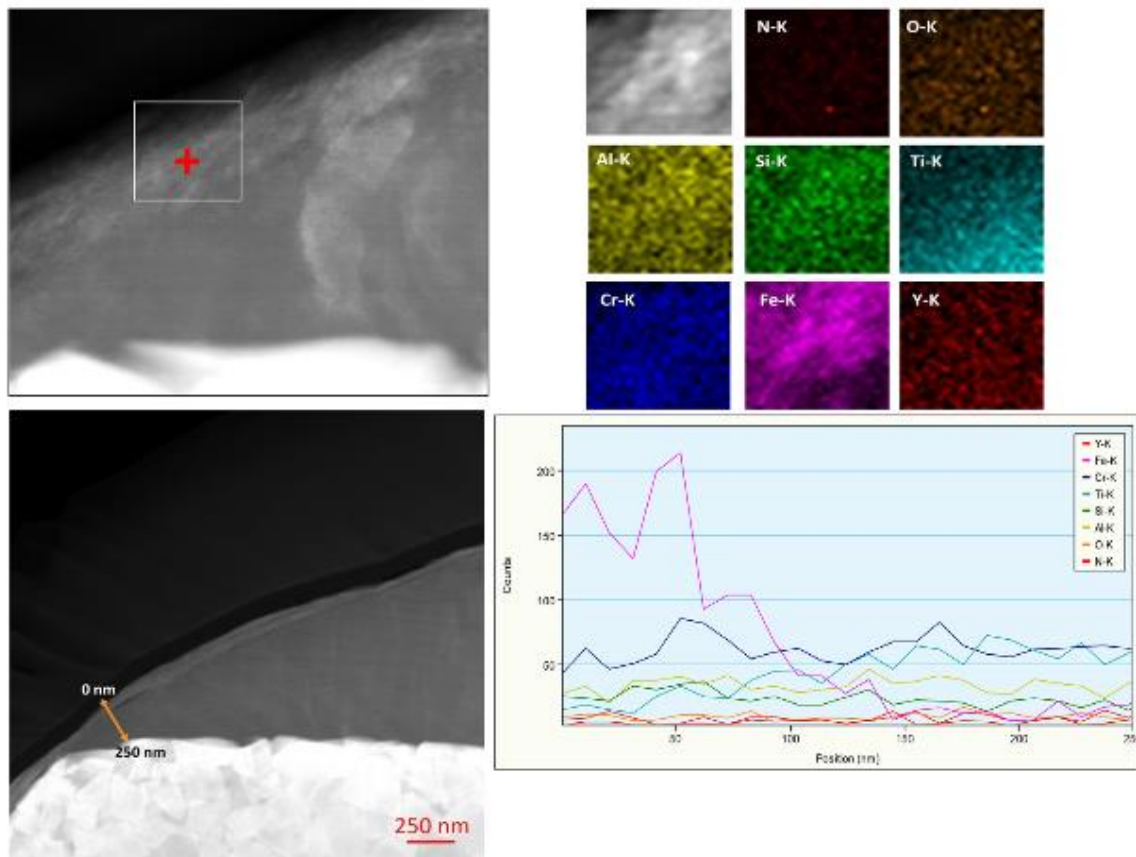


Figura 6. Análise de sonda EDS acoplada a MEV e a identificação dos elementos do revestimento nanoestruturado (14).

A progressão de transformação nas estruturas dissipativas da camada limite tribológica foi investigada em detalhe usando uma série de técnicas avançadas de caracterização da superfície. Uma variedade de tribo-filmes protetores e não-protetores se formam. Estes tribo-filmes são menos eficientes e conseqüentemente a taxa de desgaste é maior. Os resultados obtidos mostram que o aumento da complexidade estrutural e o estado de não equilíbrio da camada estruturada de superfície podem transformá-lo em um tribo-sistema inteligente, que é capaz de gerar as estruturas de superfície necessárias, em nanoescala para sustentar pressão externa; ou possibilidade aberta para controlar a evolução durante a autoorganização através do estabelecimento de uma hierarquia funcional do tribo-filme. Ao mesmo tempo, o comportamento integrativo e a multifuncionalidade da

camada estruturada de superfície (devido à sua capacidade de dissipar e acumular energia de atrito simultaneamente) também são necessários para sustentar os estímulos externos extremos. Na Figura 7 é apresentado um diagrama que esquematiza o funcionamento de revestimentos inteligentes, constituídos para propiciar baixo desgaste através da ativação de elementos projetados para formar uma tribocamada de baixo coeficiente de atrito, a partir da ativação da estrutura hierárquicas pela transferência de massa através de um estado de não equilíbrio entrópico ⁽¹⁴⁾.

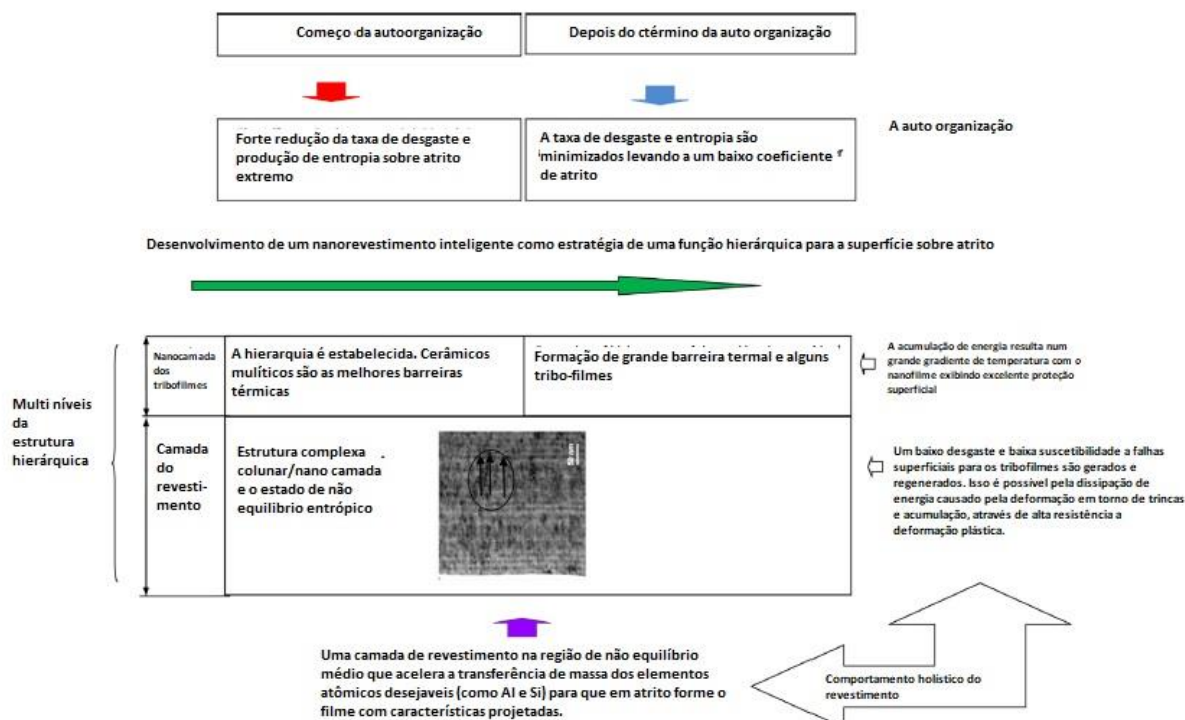


Figura 7. Diagrama da evolução do mecanismo de auto organização do revestimento nanoestruturado.

4 CONCLUSÃO

Uma abordagem para o desenvolvimento de um revestimento para conformação a frio a seco pode ser investigada através da revisão da literatura. Diversos resultados estabelecem que é possível a formação de um design de um revestimento tribológico ideal, para aplicação em escala industrial, como os lubrificantes sólidos incorporados a revestimentos metálicos ou cerâmicos, ou pulverizados sobre o substrato através de diversas técnicas, como CVD e PVD. Em uma segunda linha, revestimentos de carbono tipo diamante (DLC), de baixo coeficiente de atrito e a alta dureza de superfície, é mais um candidato para o uso em de conformação a frio, especialmente por formar uma tribocamada com polimerização *in situ* em revestimentos enriquecidos por hidrogênio. Em uma última análise, a região superficial do substrato, ou a superfície do revestimento protetor, é modificada para uma camada macia deformável, para o relaxamento localizados dos esforços cisalhantes na camada limite tribológica através de revestimentos nanoestruturados inteligentes, regidos por um processo ativado por altos coeficientes de atrito e dissipação de energia formando estados de não equilíbrio entrópico, regendo o movimento dos elementos por transferência de massa.

Observa-se um grande potencial para um desenvolvimento de um definitivo e viável revestimento tribológico ideal para conformação a frio a seco, dispendendo enormes impactos ecológicos, no que tange a volumosa utilização de lubrificantes e tratamentos na tradicional indústria de conformação, visando um tribossistema sustentável nos processos de transformação de metal, já capaz de produzir em massa produtos semi ou acabados com grande aproveitamento de matéria-prima. Resta a comprovação desses referenciais em testes em escala industrial em processos de conformação a frio a seco.

Agradecimentos

Ao Laboratório de Materiais Cerâmicos, LACER, e ao orientador Prof. Dr. Carlos Pérez Bergmann. A Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGE3M.

REFERÊNCIAS

- 1 K. Bobzin, T. Brogelmann, S. Basturk, F. Klocke, P. Mattfeld, D. Trauth, P. Polcik, S. Kolozsvari. Influence of the Composition on the Properties of (Cr_{1-x}Al_x)N/MoySz PVD Coatings *Advanced Engineering Materials*, 18 (2016), No. 6.
- 2 Produção sustentável. Disponível em < <http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/producao-e-consumo-sustentavel/conceitos/producao-sustentavel.html>>. Acesso em: 02/08/2018.
- 3 K. Bobzin, T. Brogelmann, S. Basturk, F. Klocke, P. Mattfeld, D. Trauth, P. Polcik, S. Kolozsvari. Influence of the Composition on the Properties of (Cr_{1-x}Al_x)N/MoySz PVD Coatings *Advanced Engineering Materials*, 18 (2016), No. 6.
- 4 M. Geier. Considerações sobre o Atrito para processos de forjamento a frio através do Ensaio de Compressão do Anel. Dissertação, PPGEM, UFRGS, 2007.
- 5 F. Klocke, H.-W. Raedt. Formulation and testing of optimised coating properties with regard to tribological performance in cold forging and fine blanking applications. *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*. 19 (2001) 495-505.
- 6 L. Incerti, A. Rota, S. Valeri, A. Miguel, J.A. Garcia, R. J. Rodriguez, J. Oses. Nanostructured self-lubricating CrN-Ag films deposited by PVD arc discharge and magnetron sputtering. *Vacuum*. 85 (2011) 1108-1113.
- 7 A. Mitsuo, T. Akhadejdamrong, T. Aizawa. Self-Lubrication of CI-Implanted Titanium Nitride Coating for Dry Metal Forming. *Materials Transactions*, 44, 7 (2003) 1295-1302.
- 8 F. Klocke, T. Massmann, K. Gerschwiler. Combination of PVD tool coatings and biodegradable lubricants in metal forming and machining. *Wear* (2005) 1197-1206.
- 9 F. Klocke, T. Maßmann, K. Bobzin, E. Lugscheider, N. Bagcivan. Carbon based tool coatings as an approach for environmentally friendly metal forming processes. *Wear* 260 (2006) 287–295.
- 10 H. Fukui, H. Ohara. *Surface and Coating Technology*. 146 (2001) 378–382.
- 11 K. Osakada, R. Matsumoto. Fundamental Study of Dry Metal Forming with Coated Tools. *Annals of the CIRP*. 49 (2000) 161-164.
- 12 B. Rübiger, D. Heima, C. Forsich, C. Dipolt, T. Mueller, A. Gebeshuber, R. Kullmer, R. Holecek, C. Lugmair, M. Krawinkler, V. Strobl. Tribological behavior of thick DLC

- coatings under lubricated conditions. *Surface & Coatings Technology*. 314 (2017) 13–17.
- 13 J. Vetter. 60 years of DLC coatings: Historical highlights and technical review of cathodic arc processes to synthesize various DLC types, and their evolution for industrial applications. *Surface & Coatings Technology* 257 (2014) 213–240.
 - 14 T. Polcar, A. Cavaleiro. A Frictional properties of self-adaptive chromium doped tungsten–sulfur–carbon coatings at nanoscale. *Surface & Coatings Technology*. 206 (2011) 686–695
 - 15 G. Fox-Rabinovich, A. Kovalev, M.H. Aguirre , K. Yamamoto d , S. Veldhuis. Evolution of self-organization in nano-structured PVD coatings under extreme tribological conditions. *Applied Surface Science* 297 (2014) 22–32.

OBTENÇÃO DE ELASTÔMEROS TERMOPLÁSTICOS A PARTIR DA RECICLAGEM DE CÁPSULAS DE CAFÉ

de Oliveira, M. S.¹
Fagundes, E. C. M.²
Calcagno, C. I. W.³

- ¹ Graduado em Engenharia Mecânica, Matheus Santos de Oliveira, Instituto Federal Sul-Rio-Grandense, matheus.stdeoliveira@gmail.com.
- ² Doutor em Ciência dos Materiais, Enio César Machado Fagundes, Instituto Federal Sul-Rio-Grandense, eniofagundes@sapucaia.ifsul.edu.br.
- ³ Doutora em Ciência dos Materiais, Carmen Iara Walter Calcagno, Instituto Federal Sul-Rio-Grandense, carmencalcagno@sapucaia.ifsul.edu.br.

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

Resumo

A necessidade de geração de produtos originários de fontes recicláveis capazes de diminuir o gasto energético de processos de fabricação propicia o estudo de novos meios de obterem-se matérias-primas que diminuam os impactos ambientais. Tendo essa necessidade presente no cenário industrial, o presente trabalho tem como objetivo a produção de elastômeros termoplásticos a partir da reciclagem de cápsulas de café pós-consumo. Foram definidas diferentes composições químicas para a fabricação de amostras a fim de serem avaliadas as propriedades do produto final. Misturas contendo borracha SBR, polipropileno e sistemas de reticulação contendo acelerador de vulcanização TBBS, enxofre e peróxido de dicumila (DCP) foram processadas em uma câmara de mistura e então prensadas e estampadas em corpos de prova para ensaio de tração. A dureza dos materiais obtidos foi medida por meio do ensaio de dureza Shore A. Curvas medianas de tensão-deformação foram obtidas no ensaio de tração das amostras fabricadas a fim de serem verificados os diferentes comportamentos desses materiais no que diz respeito às deformações percentuais, tensões máximas e de ruptura. Foram propostas aplicações gerais dos materiais produzidos e observadas algumas contribuições desse estudo em relação à sustentabilidade.

Palavras-chave: Cápsulas de café. Elastômeros termoplásticos. Vulcanização.

OBTAINING THERMOPLASTIC ELASTOMERS FROM THE RECYCLING OF COFFEE CAPSULES

Abstract

The need to generate products from recyclable sources capable of reducing the energy expenditure of manufacturing processes leads to the study of new ways of obtaining raw materials that reduce environmental impacts. Having this need present in the industrial scenario, the present work has the objective of producing thermoplastic elastomers from the recycling of post-consumer coffee capsules. Different chemical compositions for the manufacture of samples were defined in order to evaluate the properties of the final product. Mixtures containing SBR rubber, polypropylene and crosslinking systems containing TBBS, sulfur and dicumyl

peroxide (DCP) vulcanization accelerator were processed in a mixing chamber and then pressed and stamped into tensile test specimens. The hardness of the obtained materials was measured by means of the Shore A hardness test. Medium strain-strain curves were obtained in the tensile test of the fabricated samples in order to verify the different behavior of these materials with respect to the percentage deformations, maximum and rupture. General applications of the produced materials were proposed and some contributions of this study regarding sustainability were observed.

Key words: Coffee capsules. Thermoplastic elastomers. Vulcanization.

1 INTRODUÇÃO

Na busca pela incorporação da sustentabilidade nos seus processos de fabricação, as empresas vêm procurando alternativas para reciclar os componentes de seus produtos após o término da vida útil dos mesmos.

Atualmente, a reciclagem de materiais poliméricos é cada vez mais necessária devido ao alto consumo de produtos fabricados a partir dessa classe de materiais e em razão dos longos tempos de decomposição de seus resíduos pós-consumo. Apesar da popularização das cápsulas de café, ainda não existem estudos que comprovem a obtenção de matérias-primas originadas a partir dos resíduos pós-consumo de tais produtos. Uma alternativa para a reciclagem delas seria na obtenção de elastômeros termoplásticos vulcanizados (TPV).

Os elastômeros termoplásticos vulcanizados (TPVs) são materiais formados por domínios de borracha reticulada dispersos na matriz polimérica contínua. São obtidos por meio da vulcanização onde a borracha, componente em maior proporção, é reticulada na presença de uma matriz termoplástica fundida. (CORAN e PATEL, p.143, 2004 apud NICOLINI, p.7, 2007).

A vulcanização consiste na interligação química das longas cadeias elastoméricas (flexíveis), a fim de formar uma estrutura tridimensional; tal interligação provoca o aumento da força retrativa e a redução da quantidade de deformação permanente após a cessão da tensão aplicada sobre o material, diminuindo a plasticidade e aumentando a elasticidade (CORAN, p.106-116, 1983, CORAN, p.351-375, 1995; EIRICH, MARK e ERMAN, 1994 apud FAGUNDES, p.9, 1999).

Um sistema de vulcanização é formado por agentes de vulcanização (enxofre, óxidos metálicos, compostos difuncionais e peróxidos) e, se necessários, aceleradores, ativadores, retardadores utilizados na obtenção de características de vulcanização e propriedades dos vulcanizados. A reação de vulcanização é determinada pelo sistema de vulcanização, formado pela temperatura e pelo tempo de vulcanização. O módulo da borracha aumenta com um maior número de reticulações formadas. O número de reticulações formadas varia conforme a quantidade de agente de vulcanização, da sua atividade do tempo de reação, parâmetros que caracterizam o grau de vulcanização ou densidade de reticulação (GOMES, 2007).

A função do elastômero nos termoplásticos (TPEs) modificados é a de melhorar a resistência ao impacto e ductilidade do termoplástico, entretanto, um aumento na dureza do elastômero é percebido devido à incorporação de termoplástico na matriz elastomérica. As propriedades físicas dependem

principalmente da composição da blenda, das condições de processamento e da formação de ligações cruzadas ou agente de cura adicionado (ELLUL, PATEL e TINKER, p.573-584, 1995 apud ROJAS, p.2, 2010).

O presente estudo consiste na obtenção de elastômeros termoplásticos (TPEs e TPVs) a partir da reciclagem de cápsulas de café a fim de minimizar os impactos ambientais que ocorrem devido aos longos tempos de decomposição dos componentes poliméricos das cápsulas de café, uma vez que a reciclagem desses resíduos pós-consumo promove a fabricação de novos produtos diminuindo a necessidade de extração de recursos naturais para a geração de matéria-prima.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Nesta seção são apresentados os métodos de preparação de elastômeros termoplásticos (TPEs e TPVs), assim como os ensaios executados durante a pesquisa. O estudo foi desenvolvido nos laboratórios do Instituto Federal Sul-Rio-Grandense, no campus de Sapucaia do Sul, utilizando a matéria-prima (borracha e polímero das cápsulas de café) e os equipamentos disponíveis para a execução desse estudo.

2.1 Formulação das amostras

Foi realizada a formulação das amostras, indicando todos os materiais que compõe as amostras laboratoriais. As composições das formulações de TPV e TPE utilizadas nesse estudo estão indicadas na Tabela 1.

Tabela 1. Formulação das amostras de TPV e TPE.

	Composição	PHR	Massa (g)
Amostra 1	Elastômero de Estireno-Butadieno (SBR 1502)	60,00	25,88
	Polipropileno (PP) das cápsulas de café pós-consumo	40,00	17,25
	Peróxido de dicumila (DCP)	2,00	0,86
	TOTAL	102,00	44,00
	Fator de capacidade da câmara de mistura	0,43	-
Amostra 2	Elastômero de Estireno-Butadieno (SBR 1502)	60,00	25,76
	Polipropileno (PP) das cápsulas de café pós-consumo	40,00	17,17
	Enxofre (S)	1,50	0,64
	Acelerador N-terc-butil-2-benzotiazol-sulfenamida (TBBS)	1,00	0,43
	TOTAL	102,50	44,00
	Fator de capacidade da câmara de mistura	0,43	-
Amostra 3	Elastômero de Estireno-Butadieno (SBR 1502)	60,00	26,40
	Polipropileno (PP) das cápsulas de café pós-consumo	40,00	17,60
	TOTAL	100,00	44,00
	Fator de capacidade da câmara de mistura	0,44	-
Amostra 4	Elastômero de Estireno-Butadieno (SBR 1502)	70,00	30,80
	Polipropileno (PP) das cápsulas de café pós-consumo	30,00	13,20

	TOTAL	100,00	44,00
	Fator de capacidade da câmara de mistura	0,44	-
Amostra 5	Elastômero de Estireno-Butadieno (SBR 1502)	80,00	35,20
	Polipropileno (PP) das cápsulas de café pós-consumo	20,00	8,80
	TOTAL	100,00	44,00
	Fator de capacidade da câmara de mistura	0,44	-

Como pode ser observado na Tabela 1, foi utilizado um fator de capacidade da câmara de mistura para os cálculos das formulações das amostras; tal fator é determinado pela seguinte equação:

$$\text{Fator de capacidade da câmara} = \frac{44\text{g}}{\text{PHR total da amostra}}$$

Onde:

- 44g: capacidade da câmara de mistura, em gramas;
- PHR total da amostra: por 100 partes de borracha da amostra, em PHR;
- Fator de capacidade da câmara: taxa utilizada para calcular quantos gramas são necessários para suportar o PHR total da amostra, em g/PHR.

O fator de capacidade da câmara de mistura é necessário para que não sejam utilizados componentes em proporções que extrapolem o limite da câmara de mistura, propiciando assim uma maior acuracidade nas formulações determinadas.

2.2 Preparação dos materiais

Os materiais poliméricos utilizados na produção dos corpos de prova foram a borracha SBR 1502 pura, o corpo e o filtro das cápsulas de café em polipropileno (Figura 1). Com o intuito de remover materiais metálicos e resquícios de café das cápsulas de café, foi realizada a limpeza desse material a ser utilizado como matéria-prima na produção dos elastômeros.



Figura 1. a) corpo da cápsula de café; b) filtro da cápsula de café.

Utilizando os valores obtidos por meio da formulação das amostras e também uma balança analítica, foi possível realizar a pesagem dos materiais necessários para a produção dos corpos de prova de elastômeros termoplásticos (TPEs e TPVs).

2.3 Parâmetros de processabilidade para obtenção de elastômeros termoplásticos (TPEs e TPVs)

Os parâmetros de processabilidade para obtenção dos elastômeros termoplásticos (TPEs e TPVs) foram determinados por meio de testes de processo observando-se o comportamento dos materiais. A seguir, estão listados os parâmetros de processabilidade analisados durante a etapa de misturas:

- Temperaturas de processamento, obtidas na câmara de mistura e prensa hidráulica;
- Velocidade de rotação da mistura, obtida na câmara de mistura;
- Tempos de processamento, obtidos na câmara de mistura e prensa hidráulica.

2.4 Obtenção das amostras

GHELLER (2011) comenta que para a obtenção de misturas TPVs a base de PP podem ser utilizadas como condições de processamento a temperatura de 180°C e velocidade de rotação de 80 RPM na câmara de mistura. No presente trabalho, as misturas foram processadas em uma câmara de mistura Haake com velocidade de rotação de 32 RPM apenas a fim de abastecimento de materiais na câmara e com 64 RPM para o processamento das misturas, valor máximo permitido no equipamento utilizado.

As misturas foram produzidas a partir do aquecimento da câmara de mistura até a temperatura de processamento (180°C), após o aquecimento, as cápsulas de café picadas foram introduzidas na câmara de mistura e então, o equipamento permaneceu fechado, com rotação de 32 RPM, por 30 segundos a fim de que o polipropileno misturasse completamente. Após a fusão do polímero, a câmara novamente foi aberta para receber a borracha SBR picada; nessa etapa, a mistura processou com rotação de 64 RPM, durante 60 segundos para que houvesse tempo suficiente de ocorrer a homogeneização dessa mistura. Tal processo foi aplicado para as amostras 3, 4 e 5 (elastômeros termoplásticos; TPEs) devido à ausência de formação de ligações cruzadas.

Na amostra 1, o peróxido de dicumila (DCP) foi incorporado à mistura junto com as cápsulas de café picadas e então a borracha SBR foi adicionada. Já na mistura da amostra 2, o enxofre foi adicionado logo após a borracha SBR e, após 1 minuto de processamento a uma rotação de 32 RPM, o acelerador N-terc-butil-2-benzotiazol-sulfenamida (TBBS) foi incorporado à mistura a qual processou durante mais 1 minuto a 64 RPM de rotação.

Após feitas as misturas, a câmara de mistura foi aberta para retirada do material, o qual foi armazenado em sacos plásticos identificados com o nome da amostra e sua composição.

2.4.1 Prensagem das amostras

As misturas passaram por um processo de prensagem utilizando uma prensa hidráulica e também duas placas metálicas moldadoras com 2 mm de espessura, 100 mm de altura e 100 mm de largura a fim de serem obtidas amostras em formato de placas para posterior corte de corpos de provas.

Primeiramente, a prensa hidráulica foi aquecida até a temperatura de 180°C e então as placas metálicas moldadoras foram posicionadas na base inferior da prensa, em seguida, as misturas foram adicionadas entre as duas placas e a base inferior foi aproximada da base superior da prensa hidráulica (Figura 2). As misturas permaneceram prensadas durante 15 minutos sobre uma pressão de 6 toneladas, pois a valores abaixo desse as misturas ainda não eram espalhadas completamente sobre as duas placas metálicas moldadoras. A cada 5 minutos a pressão era ajustada até 6 toneladas para evitar a formação de bolhas nas placas produzidas.



Figura 2. Posicionamento das misturas na prensa hidráulica.

Após a prensagem das misturas, a prensa hidráulica foi resfriada durante 15 minutos e então as placas metálicas moldadoras foram removidas da base inferior da prensa hidráulica.

2.4.2 Ensaio de Dureza Shore A

O ensaio de Dureza Shore A foi realizado baseado na norma ASTM D 2240, utilizando um Durômetro Mainard modelo M-081. Segundo a norma ASTM D 2240, os durômetros tipo M são destinados ao teste de espécimes com uma espessura ou um diâmetro transversal de no mínimo 1,25mm, ideal para as amostras com 2mm de espessura utilizadas nesse estudo.

O ensaio consistiu em aplicar manualmente uma carga na superfície das amostras prensadas por meio de um penetrador padronizado; as amostras foram posicionadas sobre uma superfície horizontal plana e dura e o durômetro permaneceu na posição vertical e então a carga foi aplicada durante 5 segundos em 5 pontos aleatórios de cada amostra a fim de verificar a homogeneidade do material produzido. A pressão aplicada foi suficiente para garantir o contato firme entre o penetrador e as amostras.

2.4.3 Etampagem dos corpos de prova

As placas preparadas em prensa foram submetidas à estampagem dos corpos de prova utilizando uma estampadora de corpos de prova e uma faca de corte para estampagem de corpos de prova para tração, baseada na norma ASTM D 412 tipo C.

As amostras foram posicionadas na base da estampadora com um papelão abaixo de cada amostra a fim de verificar que o corte foi feito por completo. Para cada amostra prensada foi possível produzir 4 novas amostras no formato da faca de corte determinada, totalizando 20 corpos de provas.

2.4.4 Ensaio de Tração

Foi realizado ensaio de tração utilizando uma máquina universal de ensaios modelo INSTRON, sendo a força obtida por meio de uma célula de carga de 30 KN, com distância entre garras de 25,4 mm e velocidade de deslocamento de 200,00 mm/min. Os corpos de prova de geometria retangular utilizados foram aqueles obtidos na etapa de estampagem. Além desses parâmetros, a largura e a espessura de cada corpo de prova foram medidas por meio de um micrômetro modelo 2046F com resolução de 0,01 mm, da marca Mitutoyo. Foram medidos 3 pontos para coletar os parâmetros dimensionais dos corpos de prova, espessura e largura, e então feitas as médias entre esses valores, para cada amostra, a fim de serem utilizados no ensaio de tração.

Cada corpo de prova foi submetido a um esforço aplicando uma carga gradativa correspondente a um valor de alongamento do material até que o material rompesse, terminando assim o ensaio de tração. Os dados coletados foram fornecidos pelo próprio software que a máquina universal de ensaios utiliza para registros.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos durante a execução da pesquisa, assim como discussões de análises geradas a partir das informações coletadas ao longo dessa pesquisa.

3.1 Produção de elastômeros termoplásticos (TPEs e TPVs) em escala laboratorial

A partir do processo de prensagem das misturas, foram produzidas 5 amostras (Figura 3) de elastômeros termoplásticos (TPEs) e elastômeros termoplásticos vulcanizados (TPVs), com diferentes composições químicas.

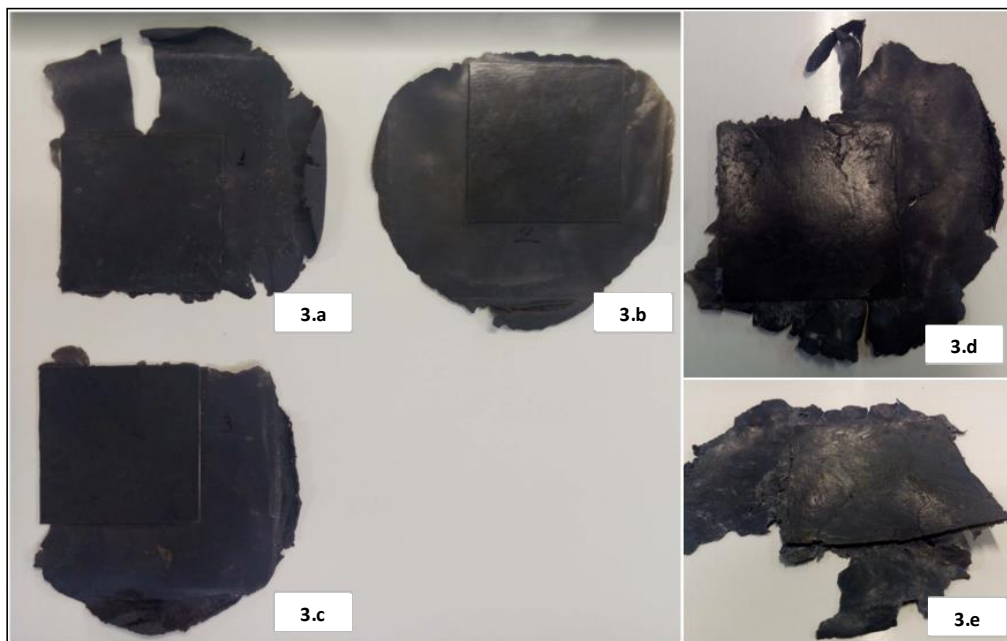


Figura 3. a) amostra de TPV com DCP, SBR (60%) e PP (40%, das cápsulas de café);
b) amostra de TPV com enxofre, TBBS, SBR (60%) e PP (40%, das cápsulas de café);
c) amostra de TPE com SBR (60%) e PP (40%, das cápsulas de café);
d) amostra de TPE com SBR (70%) e PP (30%, das cápsulas de café);
e) amostra de TPE com SBR (80%) e PP (20%, das cápsulas de café).

A análise dos resultados da Figura 5 mostra o aspecto visual das amostras de TPE (Figuras 3.d e 3.e) no qual é possível observar a presença de superfícies menos lisas e mais demarcadas do que nas amostras de TPV, além de uma maior maleabilidade e tendência a fratura. Tais propriedades podem estar relacionadas aos altos índices de SBR (70% e 80%) presentes na composição dessas amostras, entretanto na amostra de TPE contendo apenas 60% de SBR (Figura 3.c) os efeitos foram semelhantes aos citados anteriormente, porém suavizados devido à presença de maior teor de PP oriundo das cápsulas de café.

Já nas amostras de TPV (Figuras 3.a e 3.b) foram observadas superfícies uniformes e lisas com maior rigidez e elasticidade ao flexioná-las em comparação às amostras de TPE. Diante de tais observações, é possível perceber que a vulcanização provocou o endurecimento desses materiais devido à presença de ligações cruzadas nas cadeias dos elastômeros, assim como uma diminuição na plasticidade, mesmo com os percentuais de PP (40%, das cápsulas de café) serem iguais aos utilizados na produção dos TPEs.

Os corpos de prova (Figura 4) para a realização do ensaio de tração não apresentaram mudanças de maleabilidade após serem estampados.



Figura 4. Corpos de prova para ensaio de tração.

Alguns corpos de prova da amostra de TPE com SBR (80%) e PP (20%, das cápsulas de café) apresentaram pequenas rachaduras nos cantos das cabeças de duas amostras devido a esse material ser mais macio que os demais. Entretanto, tal fator não impactou nos resultados obtidos no ensaio de tração, visto que grande área da cabeças dos corpos de prova é presa nas garras da máquina universal de ensaios e as rachaduras ocorridas foram apenas nas pontas do material.

3.2 Dureza das amostras de TPEs e TPVs

Durante o ensaio de dureza Shore A foram coletadas as durezas obtidas em 5 pontos aleatórios nas placas produzidas e então calculadas as médias de dureza para cada uma das 5 amostras (Figura 5).

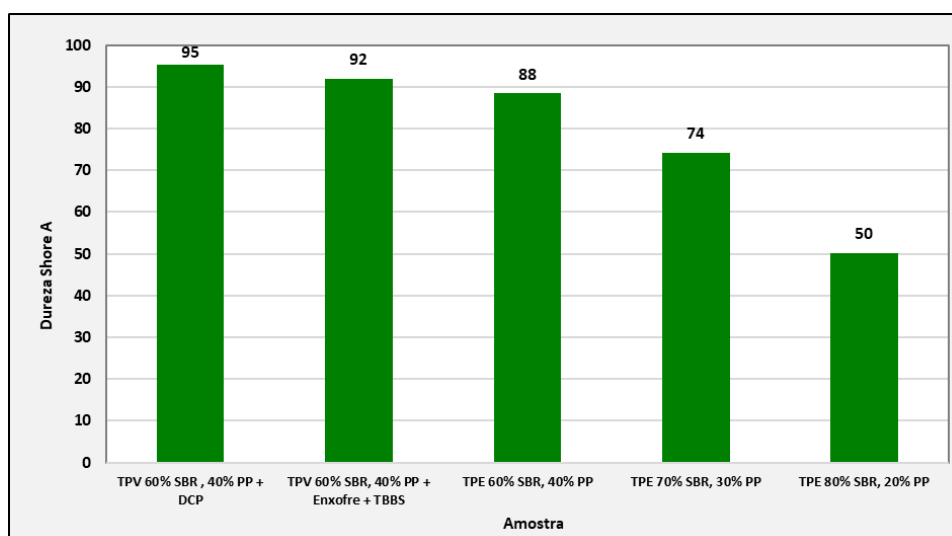


Figura 5. Média de dureza Shore A para diferentes composições de TPEs e TPVs produzidos.

Foi possível analisar na Figura 5 que os valores médios de dureza Shore A para as amostras de TPVs são os mais elevados em comparação com as demais amostras não reticuladas e ainda observa-se que a amostra reticulada com DCP apresenta dureza um pouco maior em relação a reticulada com enxofre/acelerador.

Já as amostras de TPEs possuem valores médios de dureza bem distintos entre si, podendo ser notado que quanto maior o percentual de PP, procedente das cápsulas de café, maior a dureza obtida na amostra. Tal comportamento é explicado devido à presença da estrutura cristalina do PP no material, a qual confere maior dureza em maior proporção.

HERRERA (2012) comenta que a vulcanização provoca o aumento da rigidez das cadeias elastoméricas, propiciando maiores valores de dureza em comparação com blendas convencionais contendo polipropileno e ainda afirma que quanto maior a quantidade de polipropileno presente no material, mais elevada é a dureza obtida no material devido à existência de sua estrutura cristalina.

3.3 Comportamento dos elastômeros termoplásticos (TPEs e TPVs) no ensaio de tração

A partir dos resultados obtidos no ensaio de tração para os 20 corpos de provas de TPEs e TPVs, foi possível realizar comparações entre as amostras que possuíam a mesma formulação a fim de avaliar o comportamento dos diferentes tipos de TPEs e TPVs produzidos. Por meio dessas comparações, foi gerado um comparativo com as curvas medianas de tensão-deformação (Figura 8) dos 4 corpos de provas produzidos para cada uma das cinco formulações propostas no princípio desse estudo.

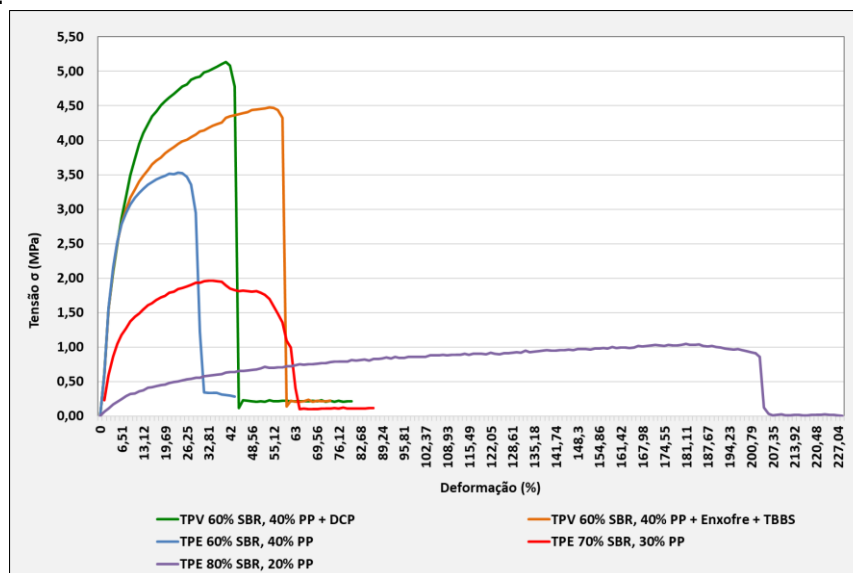


Figura 6. Curvas mediana de tensão-deformação para diferentes amostras de TPE e TPV.

Como pode ser analisado na Figura 6, o TPE com 80% de SBR e 20% de PP apresenta o maior percentual de deformação, 203%, entretanto, possui 1,0 MPa de tensão máxima, sendo esta a menor tensão frente aos demais materiais. Já o TPE com 70% de SBR e 30% de PP mostra uma média de deformação de 64% e 1,9 MPa de tensão máxima. O TPE com 60% de SBR e 40% de PP apresenta a maior das tensões obtidas entre os TPEs, porém a menor deformação média entre os

mesmos, com cerca de 31% a mais frente ao seu comprimento inicial, tal comportamento é explicado devido ao menor percentual de SBR em sua composição.

Esta avaliação serviu para comparar os diferentes teores de borracha entre os TPEs, mostrando que com maior teor de borracha e sem reticulação existe maior tendência ao escoamento, por isto serem observados alongamentos tão altos e tensões de ruptura tão baixas. Estes fatores podem ser avaliados no caso de aplicação em um produto, podendo assim identificar a viabilidade técnica ou não de cada proporção. Pelas características apresentadas pelas amostras de TPEs, julgou-se ser desnecessário, neste momento, avaliar amostras reticuladas com a proporção de 70 e 80 % de borracha, podendo ser explorada essa possibilidade futuramente.

Observa-se que os TPVs são os materiais que apresentam os maiores valores de tensão máxima, sendo o TPV vulcanizado com DCP, 60% de SBR e 40% PP, o material com maior tensão obtida, acima de 5 MPa e com um percentual de deformação intermediário de 45%, frente aos demais materiais analisados. Já o TPV vulcanizado com enxofre/acelerador, 60% de SBR e 40% PP apresenta maior percentual de deformação que o TPV anterior, 59%, porém sua tensão máxima observada foi menor que 4,5 MPa. Os altos valores de tensão máxima e deformação percentual para os TPVs são justificados devido à presença do enxofre e do peróxido de dicumila (DCP) na composição dos TPVs. É notório que estes materiais apresentam resistência mecânica muito boa associada à flexibilidade. Do ponto de vista de aplicação em produtos tem-se um comportamento bem interessante.

FAGUNDES e JACOBI (2012) destacam que um aumento significativo de peróxido de dicumila (DCP) em amostras de TPV resultam em um material com bom desempenho mecânico, além de que a presença do enxofre no TPV gera ligações cruzadas mais longas e, portanto, mais flexíveis.

Foram observadas as tensões na ruptura e a deformação na ruptura dos 20 corpos de prova e então feitas as médias desses resultados (Tabela 2), para cada um dos cinco materiais, a fim de verificar o material que obteve as melhores propriedades mecânicas.

Tabela 2. Média dos resultados de tensão e deformação na ruptura.

Amostras	Tensão de Ruptura (MPa)	Deformação na ruptura (%)
TPV 60% SBR, 40% PP + DCP	4,9 ± 0,2	43 ± 9
TPV 60% SBR, 40% PP + Enxofre + TBBS	3,5 ± 0,4	54 ± 10
TPE 60% SBR, 40% PP	3,0 ± 0,3	24 ± 6
TPE 70% SBR, 30% PP	1,2 ± 0,3	50 ± 18
TPE 80% SBR, 20% PP	0,7 ± 0,2	188 ± 12

Dos resultados do ensaio de tração (Tabela 2) verifica-se uma pequena variação na deformação de ruptura para os TPVs reticulados com DCP ou enxofre/acelerador. Quanto aos TPEs correspondentes, com 60% de SBR e 40% de PP, os valores de deformação na ruptura são menores, cerca da metade do valor, em função de não existir reticulação e as cadeias sofrerem um escoamento com menor resistência, facilitando a ruptura. Os valores de tensão de ruptura são bem diferentes entre os TPVs e os TPEs em função também da reticulação.

Comparando os dois TPVs, observa-se que a reticulação com DCP promove maior valor na tensão de ruptura, indicando maior grau de reticulação que o sistema com enxofre/acelerador FAGUNDES e JACOBI (2012). Quanto aos TPEs com maior percentual de SBR (80% e 70%), ambos possuem a menor média entre as tensões de ruptura em função do alto percentual de borracha e da ausência de reticulação. Da mesma forma, a maior média de deformação na ruptura está com a amostra com 80% de borracha, comportamento explicado devido ao seu baixo teor de PP.

3.4 Aplicabilidade dos produtos acabados

Estes compostos foram estudados para especular a possibilidade de uso em produtos finais. Apesar de não ter sido o foco deste trabalho fazer um produto, as propriedades mecânicas apresentadas por estes compostos podem ser relacionadas com algumas aplicações. Produtos que exijam maciez ao toque, uma certa flexibilidade e que permitam deformações que um material termoplástico não consiga realizar sozinho, podem ser contemplados com estes compostos.

Lembrando que os compostos propostos foram obtidos de matéria-prima reciclada e, todos eles, mesmo os reticulados, são termoplásticos, ou seja, podem ser reprocessados por calor novamente. A partir dos resultados obtidos até o momento é possível sugerir o uso do material em aplicações gerais como: cabo de ferramentas que apresentem boa pegada e relativa maciez, cabo de escovas para diversos fins, partes e peças para automóveis que necessitem características elásticas, vedações de janelas em substituição à borracha e puxadores com maciez de toque. Nestes últimos anos, diversos produtos feitos de borracha convencional cederam lugar aos elastômeros termoplásticos devido ao apelo de reciclabilidade e menor gasto de energia.

4 CONCLUSÃO

Para este trabalho foram produzidos elastômeros termoplásticos (TPEs) e elastômeros termoplásticos vulcanizados (TPVs), em escala laboratorial, a partir da reciclagem de cápsulas de café de polipropileno e borracha SBR 1502. Os sistemas de reticulação utilizados foram reticulação com peróxido de dicumila (DCP) e o sistema enxofre (S) e acelerador N-terc-butil-2-benzotiazol-sulfenamida (TBBS).

Foram avaliados os diferentes teores de PP e SBR para as amostras produzidas a fim de observar o comportamento dos diferentes materiais frente aos ensaios de dureza e tração. Observou-se visualmente após a prensagem dos materiais que os TPVs apresentaram superfícies mais lisas e estruturas mais rígidas em comparação aos TPEs, principalmente quando comparados com a amostra em placa contendo 80% SBR, 20% PP em sua formulação. Tal observação foi confirmada no ensaio de dureza Shore A que indicou os maiores níveis de dureza presentes nos TPVs, comportamento proveniente das ligações cruzadas originárias na câmara de mistura durante o processo de vulcanização dinâmica.

Por meio da execução do ensaio de tração, foi possível analisar pelas curvas médias de tensão-deformação que os TPVs atingiram os maiores valores de tensão máxima de tração e de ruptura, além de ser verificado que o maior percentual de deformação presente foi no TPE contendo 80% SBR, 20% PP devido ao seu teor de PP ser o menor entre todos os materiais analisados.

Com os resultados atingidos, é possível especular a utilização desses materiais produzidos na construção de objetos com relativa maciez, como cabos de ferramentas e também para aplicações que necessitem características elásticas, como puxadores, peças automotivas e vedações de janelas, em substituição às borrachas convencionais.

É notória a necessidade de novas matérias-primas capazes de serem recicladas para fins de sustentabilidade, tanto em relação a economia financeira, quanto à preservação dos recursos naturais e também em relação ao papel social das empresas que produzem e utilizam tais materiais. Diante deste cenário global, os materiais produzidos nesse trabalho podem contribuir com a redução de gasto energético na exploração de recursos naturais, uma vez que parte de suas formulações são oriundas de produtos pós-consumo, como as cápsulas de café.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal Sul-rio-grandense pela disponibilização da infraestrutura dos laboratórios DIMP e LCQ.

REFERÊNCIAS

- 1 NICOLINI, A. Desenvolvimento de Elastômeros Termoplásticos a Partir de PP e EPDM. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Química. Porto Alegre, 2007.
- 2 FAGUNDES, E.C.M. Estudo do Sistema N-Ciclohexil-2-Benzotiazoi-Sulfenamida (CBS) I Enxofre na Vulcanização da Borracha Natural. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas Metalúrgica e dos Materiais. Porto Alegre, 1999.
- 3 GOMES, M.M. Vulcanização com Enxofre. 2007. Disponível em: <<http://www.rubberpedia.com/vulcanizacao/vulcanizacao-com-enxofre.php>>. Acesso em: 28 nov. 2017.
- 4 ROJAS, G.J.A. Utilização da Borracha Natural no Desenvolvimento de Elastômeros Termoplásticos. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação Ciência e Engenharia de Materiais. São Carlos, 2010.
- 5 GHELLER, J.JR. Influência da Microestrutura, Sistema de Cura e Aditivos sobre as Propriedades dos TPV's a Base de PP/EPDM. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais. Porto Alegre, 2011
- 6 ASTM D412 – 16: Standard Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers—Tension
- 7 HERRERA, J.C.A. Desenvolvimento de Borracha Termoplástica por Vulcanização Dinâmica. TPV-(NBR+PP). Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação Ciência e Engenharia de Materiais. São Carlos, 2012.
- 8 FAGUNDES, E.C.M.; JACOBI, M.A.M. TPVs PA/NBR: sistema de reticulação e propriedades. Polímeros. 2012, vol.22, n.2, pp.206-212.

OBTENÇÃO E A CARACTERIZAÇÃO DE CATALIZADORES NANOESTRUTURADOS DE ÓXIDO DE NIÓBIO (Nb₂O₅).

Lemes, T..¹
Cadorin, M.²
Adamski, J.³
Aguzzoli, C.⁴
Malfatti, C.F.⁵

- ¹ Mestre Thais Lemes, LAPEC/PPGE3M, Departamento de Metalurgia, UFRGS, lemes_thais@hotmail.com
- ² Graduanda em Eng. Metalúrgica Martina Cadorin, LAPEC/PPGE3M, Departamento de Metalurgia, UFRGS, martinacdr@hotmail.com
- ³ Doutora Janice Adamski, LAPEC/PPGE3M, Departamento de Metalurgia, UFRGS, jance_adki@hotmail.com
- ⁴ Professor Doutor Cesar Aguzzoli, Universidade de Caxias do Sul, RS, Brasil. caguzzol@ucs.br
- ⁵ Professora Doutora Célia de Fraga Malfatti, LAPEC/PPGE3M, Departamento de Metalurgia, UFRGS, materiaisxenergia@gmail.com

Resumo

Uma das principais forças motivadoras da pesquisa científica e tecnológica é buscar soluções acentuadas na área de nanociência e nanotecnologia como o desenvolvimento de nanomateriais eficientes no processo de produção de energia considerado limpas, relacionado à produção de hidrogênio e degradação de resíduos industriais. O presente trabalho tem por objetivo a obtenção e a caracterização de fotocatalisadores nanoestruturados de óxido de nióbio (Nb₂O₅) empregando processo hidrotermal. O processo hidrotermal é um processo fácil e relativamente barato para obter Nb₂O₅ a partir de placas de nióbio. Neste trabalho será apresentado a obtenção de nanoestruturas e a variação na etapa após o processo hidrotermal, o tratamento térmico. Os resultados obtidos mostraram que a amostra que passou pelo processo hidrotermal e posteriormente pelo tratamento térmico em atmosfera de amônia, mostrou-se eficiente na resposta fotoeletroquímica.

Palavras-chave: Nanoestruturas, Processo Hidrotermal, Fotoeletrocatalise, Eficiência Energética.

OBTAINING AND CHARACTERIZING NANOESTRUTURED CATALYSTS OF NIOBIOUS OXIDE (Nb₂O₅).

Abstract

One of the main motivating forces of scientific and technological research is to seek strong solutions in the area of nanoscience and nanotechnology as the development of efficient nanomaterials in the process of energy production considered clean, related to the production of hydrogen and degradation of industrial waste. The present work has the objective to obtain and characterize nanostructured niobium

oxide (Nb_2O_5) photocatalysts using a hydrothermal process. The hydrothermal process is an easy and relatively inexpensive process for obtaining Nb_2O_5 from niobium plates. In this work will be presented the obtaining of nanostructures and the variation in the stage after the hydrothermal process, the heat treatment. The results showed that the sample that passed through the hydrothermal process and later by the thermal treatment in ammonia atmosphere, proved efficient in the photoelectrochemical response.

Key words: Nanostructures, Hydrothermal process, Photoelectrocatalysis, Energy Efficiency.

1 INTRODUÇÃO

Desde a descoberta de nanotubos de carbono, em 1991⁽¹⁾ houve um significativo aumento das pesquisas de materiais nanoestruturados, incluindo *nanorods*, nanotubos, nanofios, nanofibras, nanoribbons e nanocintos. O crescente interesse por esses materiais é devido às suas propriedades físicas e químicas diferenciadas. As nanoestruturas podem ser obtidas a partir de vários materiais como TiO_2 ⁽²⁾, ZnO ⁽³⁾, SnO_2 ⁽⁴⁾, Ta_2O_5 ⁽⁵⁾, In_2O_3 ⁽⁶⁾ e Nb_2O_5 ⁽⁷⁾.

Entre eles, o Nb_2O_5 é um importante óxido semicondutor, com o *bandgap* de aproximadamente 3,4 eV aliado a valores de potencial redox apropriado para as bandas de condução e de valência, fazem deste um material potencial candidato para aplicações em fotocatalise⁽⁸⁾ que apresentam estabilidade química, termodinamicamente estável e baixa toxicidade. Atualmente o Nb_2O_5 é largamente utilizado em dispositivos eletrônicos, sensores de gás⁽⁹⁾, filtros ópticos⁽¹⁰⁾, e também como materiais candidatos para fotocatalisadores⁽¹¹⁾, biomateriais⁽¹²⁾ etc.

O Nb_2O_5 tem em sua estrutura octaedros cristalinos de NbO_6 , cuja estrutura pode ser distorcida com diferentes temperaturas. Em algumas fases se encontram diferentes estruturas para a coordenação poliédrico, tais como hepta-coordenada (NbO_7), octa-coordenada (NbO_8) e pentóxido de fósforo Nb_2O_5 ⁽¹³⁾. Do ponto de vista energético, o pentóxido de Nb_2O_5 é o óxido de nióbio mais estável, superando o NbO e NbO_2 ^{(14),(15)}.

O processo hidrotérmico é uma nova técnica de produção de nanobastões em um ambiente selado de alta temperatura e alta pressão⁽¹⁶⁾. As técnicas hidrotérmicas podem ser realizadas em um sistema fechado a uma temperatura mais alta e podem produzir diretamente a estrutura cristalina sem processos de recozimento. Além disso, o processo hidrotérmico também é útil para produzir partículas finas com morfologia única e propriedades incomuns.

Neste trabalho, foram obtidos *nanorods* de Nb_2O_5 a partir do processo hidrotermal em uma solução à base de NH_4F com imersão de placas de nióbio. Com o objetivo de cristalizar o óxido, posteriormente realizou-se tratamento térmico em diferentes atmosferas. As propriedades eletroquímicas desses *nanorods* de Nb_2O_5 foram investigadas por ensaios fotoeletroquímicos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Utilizou-se placas de nióbio (99,8 - pureza:% em peso, 1 mm de espessura, CBMM), com dimensões de 1 cm x 2,5 cm. Esta placa de nióbio foi limpa em banho de ultrassom por 10 min em água desengordurada e deionizada (DI) e depois seca sob ar frio. O processo hidrotermal foi realizado em solução aquosa de fluoreto de amônio (NH_4F) (Synth - pureza: 98,0%) e água deionizada. Placas de nióbio foram colocadas em uma autoclave revestida com Teflon e mantida a 150 °C em um forno tipo mufla durante 48 horas⁽⁷⁾. Após o processo de oxidação, a amostra foi lavada completamente com água deionizada e depois seca ao ar. Após o processo hidrotermal, as amostras passaram por tratamento térmico em forno tubular a 450 °C durante 60 minutos em atmosfera de nitrogênio (N_2) com uma rampa de aquecimento de 2 °C min⁻¹ ou por tratamento térmico em forno tubular a 450 °C durante 60 minutos em atmosfera de amônia (NH_3) com uma rampa de aquecimento de 2 °C min⁻¹, o objetivo do tratamento térmico é cristalizar os *nanorods* Nb_2O_5 .

A morfologia foi estudada pelo equipamento de Microscopia Eletrônica de Varredura de Campo (MEV-FEG) MIRA3 da TESCAN operado a 10 e 15 kV. A estrutura cristalina foi determinada por difração de raios X (XRD) usando XRD 6000 por SHIMADZU, equipado com um mono-cromador de grafite e ânodo de cobre rotativo operado a 40 kV e 30 mA. A fonte de raios X consistia de radiação de Cu ($1,54184 \text{ \AA}$) selecionada com um filtro de Ni. As medições foram realizadas com um passo de 0,04 ° e um tempo de contagem de 0,60 s por passo.

As medidas de resposta fotoeletroquímica foram realizadas utilizando um potenciostato Autolab (PGSTAT 100N). Os experimentos foram realizados em uma célula de quartzo utilizando uma configuração de três eletrodos empregando *nanorods* de Nb_2O_5 como eletrodo de trabalho, fio de Pt como contra eletrodo e Hg / HgSO_4 saturado como eletrodo de referência, em eletrólito aquoso de Na_2SO_4 0,1 M. A voltametria de varredura linear foi realizada a uma velocidade de 10 mV / s no escuro e sob iluminação. Um simulador solar (Newport) incorporado com lâmpada de xenônio (Oriol) foi usado como fonte de radiação e a radiação foi filtrada por um filtro AM 1.5 G. A intensidade da luz foi calibrada por um fotodiodo com uma capacidade conhecida de 100 mW / cm² (1 sol).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra o padrão de DRX da amostra cristalizada a 450 °C por 60 min em atmosfera de NH_3 e em atmosfera de N_2 . Os *nanorods* obtidos pelo processo hidrotermal (150 °C por 48h) são amorfos, portanto, o tratamento térmico é necessário para cristalizá-los. A fase principal detectada foi Nb_2O_5 , que poderia ser indexada a Nb_2O_5 (JPCDS 27-1313) com uma estrutura ortorrômbica. Assim, os picos de difração da amostra estão atribuindo principalmente ao óxido Nb_2O_5 .

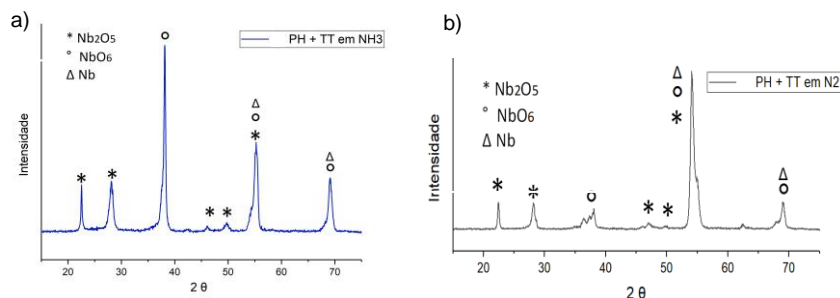


Figura 1: DRX das amostras após tratamento térmico em atmosfera de (a) NH_3 e (b) N_2

As amostras obtidas foram testadas para resposta fotoeletroquímica em eletrólito aquoso de Na_2SO_4 0,1 M sob condições de AM 1,5 G (iluminação solar) no escuro e em luz. As curvas de voltametria de varredura linear (LSV) são apresentadas na Figura 2.

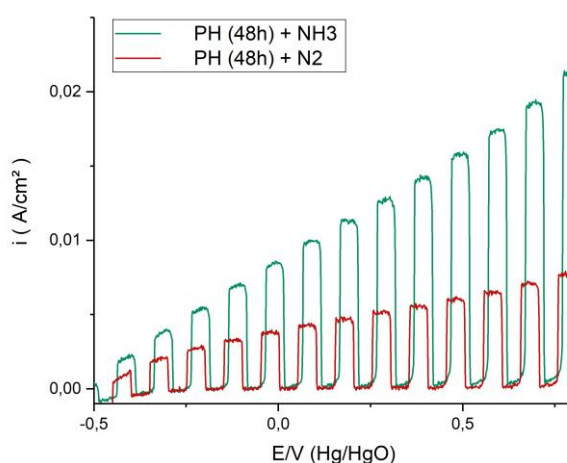


Figura 2: Curvas de voltametria linear dos *nanorods* de Nb_2O_5 obtidas por processo hidrotérmico (em atmosfera de NH_3 e em atmosfera de N_2)

Para comparação, a camada de *nanorods* de Nb_2O_5 obtida após o processo hidrotérmico, e posteriormente tratada termicamente em diferentes atmosferas atmosfera de NH_3 (a) atmosfera de N_2 (b). Ambas as amostras foram tratadas a 450 °C por 60 min e foram testadas na mesma condição.

O melhor desempenho fotoeletroquímico (maior densidade de corrente) é obtido para a amostra (a) (tratamento térmico em atmosfera de NH_3). Portanto, a atmosfera do tratamento térmico tem influência direta na estrutura de óxido formada na superfície do Nb, diminuindo na resposta fotoeletroquímica das amostras.

A Figura 3 mostra as imagens de MEV-FEG dos *nanorods* de Nb_2O_5 após o tratamento térmico. Após a reação, as superfícies das folhas de Nb mudaram para pálidas, indicando que uma camada de produto foi formada na superfície da folha.

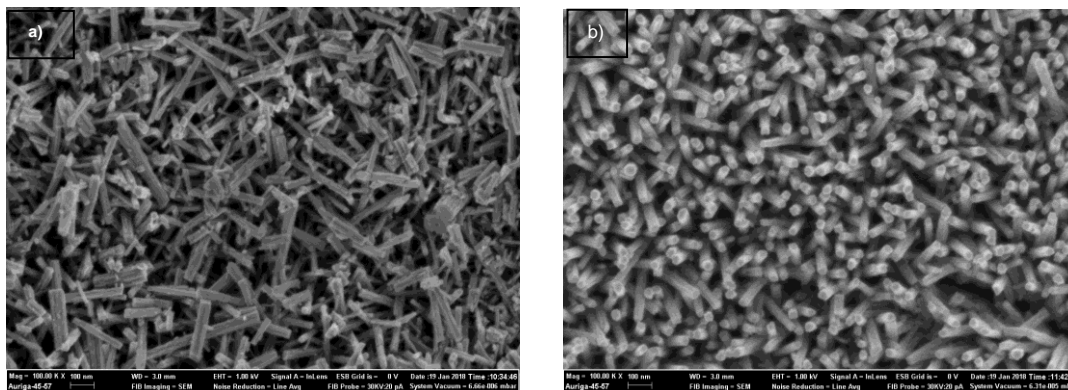


Figura 3: a) amostra que passou pelo tratamento térmico em atmosfera de NH_3 e b) amostra que passou pelo tratamento térmico em atmosfera de N_2

4 CONCLUSÃO

Neste trabalho foram apresentados resultados obtidos a partir do processo hidrotérmico para formação de *nanorods* de Nb_2O_5 e posterior cristalização do óxido em diferentes atmosferas. Foi possível verificar que o tratamento térmico apresenta influência direta na estrutura de óxido formada na superfície e na resposta fotoeletroquímica das amostras. Com base nos resultados obtidos no presente trabalho pode-se concluir que a amostra que cristalizou a partir de tratamento térmico em atmosfera de NH_3 é um promissor fotoeletrodo para formar heteroestruturas baseadas em *nanorods* de Nb_2O_5 uniformes.

Agradecimentos

Este trabalho foi realizado com o apoio da CAPES, entidade do governo brasileiro voltada à formação de Recursos Humanos e com apoio do CNPq. Agradecemos também à PGMAT, UCS, pela realização da análise de FEG. Agradecemos a CBMM pelo fornecimento das placas de Nb usadas no trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 S. Iijima. Helical microtubules of graphitic carbón. *Nature* 354 (6348) (1991), 56–58.
- 2 A. Bervian, E. Coser, et al. Evolution of TiO_2 nanotubular morphology in ethylene glycol mixed with glycerol electrolyte and its photoelectrochemical performance. *Materials Research*. 20(4) (2017), 962-972.
- 3 W. I. Park, J. S. Kim, G.-C. Yi, and H.-J. Lee. ZnO nanorod logic circuits. *Advanced Materials*. 17(11) (2005) 1393–1397
- 4 H. Huang, O. K. Tan, Y. C. Lee, M. S. Tse, J. Guo, and T. White. In situ growth of SnO_2 nanorods by plasma treatment of SnO_2 thin films. *Nanotechnology*. 17 (15) (2006) 3668–3672.
- 5 H. A. El-Sayed and V. I. Birss. Controlled interconversion of nanoarray of Ta dimples and high aspect ratio Ta oxide nanotubes. *Nano Letters*. 9 (4) (2009) 1350–1355.

-
- 6 A. J. Chiquito, A. J. C. Lanfredi, R. F.M. de Oliveira, L. P. Pozzi, and E. R. Leite. Electron dephasing and weak localization in Sn doped In₂O₃ nanowires. *Nano Letters*. 7 (5) (2007) 1439–1443.
- 7 H. Wen, Z. Liu, J. Wang, Q. Yang, Y. Li, J. Yu. Facile synthesis of Nb₂O₅ nanorod array films and their electrochemical properties. *Applied Surface Science*. 257 (2011) 10084–10088.
- 8 A. G. S.; Prado, L. B. Bolzon, C. P. Pedroso, A. O. Moura, L. L. Costa. Nb₂O₅ as efficient and recyclable photocatalyst for indigo carmine degradation; *Appl. Catal. B: Environ.* 82 (2008) 219- 225.
- 9 T. Hyodo, J. Ohoka, Y. Shimizu, M. Egashira. Design of anodically oxidized Nb₂O₅ films as a diode-type H₂ sensing material. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 117(2) (2006) 359–366.
- 10 H. Szymanowski, O. Zabeida, J.E. Klemberg-Sapieha, L. Martinu. *J. Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films*. 23 (2005) 241–247.
- 11 A.G.S. Prado, E.A. Faria, J.R. SouzaDe, J.D. Torres, Ammonium complex of niobium as a precursor for the hydrothermal preparation of cellulose acetate/Nb₂O₅ photocatalyst. *J. of Molecular Catalysis A: Chemica*. 237 (2) (2005) 115–119.
- 12 RE. Baier. Surface behaviour of biomaterials: the theta surface for biocompatibility. *J Mater Sci Mater Med*. 17(11) (2006) 1057-62.
- 13 F. L. Osmando, R. M. Vagner, BFS. Fernando, C.P. Elaine. R. Caue. Óxidos de nióbio: uma visão sobre a síntese do nb₂o₅ e sua aplicação em fotocatalise heterogénea. *Quim. Nova*. 38 (1) (2015) 106-117.
- 14 Gmelin Handbuch der Anorganischen Chemie, Niob, Teil B1 (1970). Weinheim: Verlag Chemie GmbH.
- 15 S.Venkataraj, R. Drese, C. LIESCH, O. KAPPERTZ, R. JAYAVEL, & M. WUTTIG. Temperature stability of sputtered niobium-oxide films. *J. of Applied Physics*. 91 (2003) 4863-4871.
- 16 H. Feng, M. H. Zhang, L. E. Yu. Hydrothermal synthesis and photocatalytic performance of metal-ions doped TiO₂. *Applied Catalysis A*. 413 (2012) 238– 244.

PITCHER – REUSO DE RESÍDUO CERÂMICO

de Souza, V. M.¹
Martins, V.²
Tubino, R. M.C.⁵

- ¹ *Mestre, Vanessa Moura de Souza, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, moura.souza@ufrgs.br*
- ² *Doutor, Vinicius Martins, Instituto Federal Sul Rio-grandense, vinicius.martis@sapucaia.ifsul.edu.br*
- ³ *Doutora, nome Rejane Maria Candiota Tubino, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, rejane.tubino@ufrgs.br*

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

Resumo

No cenário mundial, o Brasil é um dos quatro maiores produtores de cerâmica branca e um dos principais resíduos dessas indústrias é o pitcher, que é basicamente constituído por cacos de louças que apresentaram defeitos durante sua fabricação. São louças que não passaram no teste de qualidade e que são trituradas, para que seu resíduo seja parcialmente reinserido na produção de pisos cerâmicos, refratários ou na própria produção de louça. Porém, essas rotas de reuso ainda não são suficientes, a geração do pitcher ainda contribui para a diminuição da vida útil dos aterros, onde são normalmente dispostos o percentual que não é reaproveitado. No sentido de encontrar aplicações tecnológicas para esse resíduo, o objetivo dessa pesquisa visa o estudo e caracterização do pitcher para o reuso em peças sinterizadas, ou seja, analisar outras opções que abranjam a utilização deste resíduo de forma satisfatória através de análise química, análise por microscopia eletrônica de varredura, distribuição granulométrica, avaliação de corrosividade, reatividade, inflamabilidade assim como enquadramento na classificação de resíduos sólidos. A análise química demonstrou que o pitcher possui elementos de interesse e ausência de defeitos tipo contaminantes e toxicidade além disso, apresentou resultados satisfatórios quanto às análises estudadas nesse trabalho, mostrando possuir um futuro promissor para sua aplicação na fabricação de peças utilizando tecnologia do pó.

Palavras-chave: Pitcher; Resíduo sólido; Cerâmica.

PITCHER - CERAMIC RESIDUE REUSE

Abstract

In the world scenario, Brazil is one of the four largest producers of white ceramics and one of the main waste of these industries is the pitcher. Pitcher consists of pieces of crockery that have defects during its manufacture. They are dishes that have not passed the quality test and are crushed, so that their residue is partially reinserted in the production of ceramic floors, refractory or in the production of dishes. However, these reuse routes are still not enough, pitcher generation still contributes to the decrease in the useful life of landfills, where the percentage that is not reused is usually arranged. In order to find technological applications for this

residue, the objective of this research is the study and characterization of the pitcher for the reuse in sintered parts, that is, to analyze other options that cover the use of this residue satisfactorily through chemical analysis, scanning electron microscopy, granulometric distribution, corrosivity evaluation, reactivity, flammability as well as classification in solid waste classification. The chemical analysis showed that the pitcher has elements of interest and absence of defects like contaminants and toxicity. In addition, it presented satisfactory results regarding the analyzes studied in this work, showing a promising future for its application in the manufacture of parts using powder technology.

Key words: Pitcher; Solid waste; Ceramics.

1 INTRODUÇÃO

A pesquisa e o desenvolvimento de alternativas de matérias primas naturais assim como novas técnicas de fabricação para processos mais eficientes se fazem necessários para otimização e desenvolvimento sustentável nas indústrias.

A reutilização de resíduos sólidos é a ação ou prática de utilizar algo novamente, seja para seu propósito original, ou para cumprir uma função diferente; é uma prioridade na Gestão de Resíduos. A lei 12.305/2010 Art. 9º diz que na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. O pitcher, assim sendo, é percebido como uma oportunidade de contribuição para o desenvolvimento de tecnologia em um resíduo ainda pouco explorado. Dentro deste quadro, foi feita a proposição de uma rota de processamento do pitcher com objetivo de uso por tecnologia do pó através da sua análise e caracterização. A alternativa do estudo em cima da tecnologia do pó, que se baseia na compactação em moldes metálicos e consolidação da peça por aquecimento controlado, foi decidida uma vez que este processo apresenta resultados um produto com forma final desejada, bom acabamento superficial, controle da composição química e de suas propriedades mecânicas assim como quase nenhum resíduo. O processo da tecnologia do pó envolve de maneira resumida, quatro etapas fundamentais: a obtenção, a mistura, a compactação e a sinterização dos pós.

O pitcher é constituído por cacos de louças que apresentaram defeitos durante sua fabricação. São louças que não passaram no teste de qualidade e que são trituradas, para que seu resíduo seja parcialmente reinserido na produção de pisos cerâmicos, refratários ou na própria produção de louça⁽¹⁾. O pitcher tem propriedades substanciais como resistência térmica e mecânica, pois provém de cerâmicos que contém argila, sílica e feldspato⁽²⁾. A argila é responsável pelas propriedades plásticas necessárias à moldagem do material, a sílica aumenta a resistência mecânica dos cerâmicos e o feldspato reduz a temperatura de fusão da mistura⁽³⁾.

Historicamente, a principal motivação para a prática de reuso de resíduos sólidos, dito, conforme o inciso XVIII do Art. 3º da Lei 12.305/2010 como: *Processo de*

aproveitamento dos resíduos sólidos sem sua transformação biológica, física ou físico-química, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes; foi financeira ⁽³⁾. Essa prática auxilia em questões de tempo, dinheiro, energia e recursos. Por isso, o objetivo deste artigo é caracterizar o pitcher com o intuito de futura aplicação em processos de fabricação de peças por tecnologia do pó, com um rota de simples processamento e baixo custo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para classificação do resíduo na NBR 10004:2004 foi utilizada seguinte metodologia com o fluxograma indicado pela própria norma ⁽⁴⁾, Figura 1:

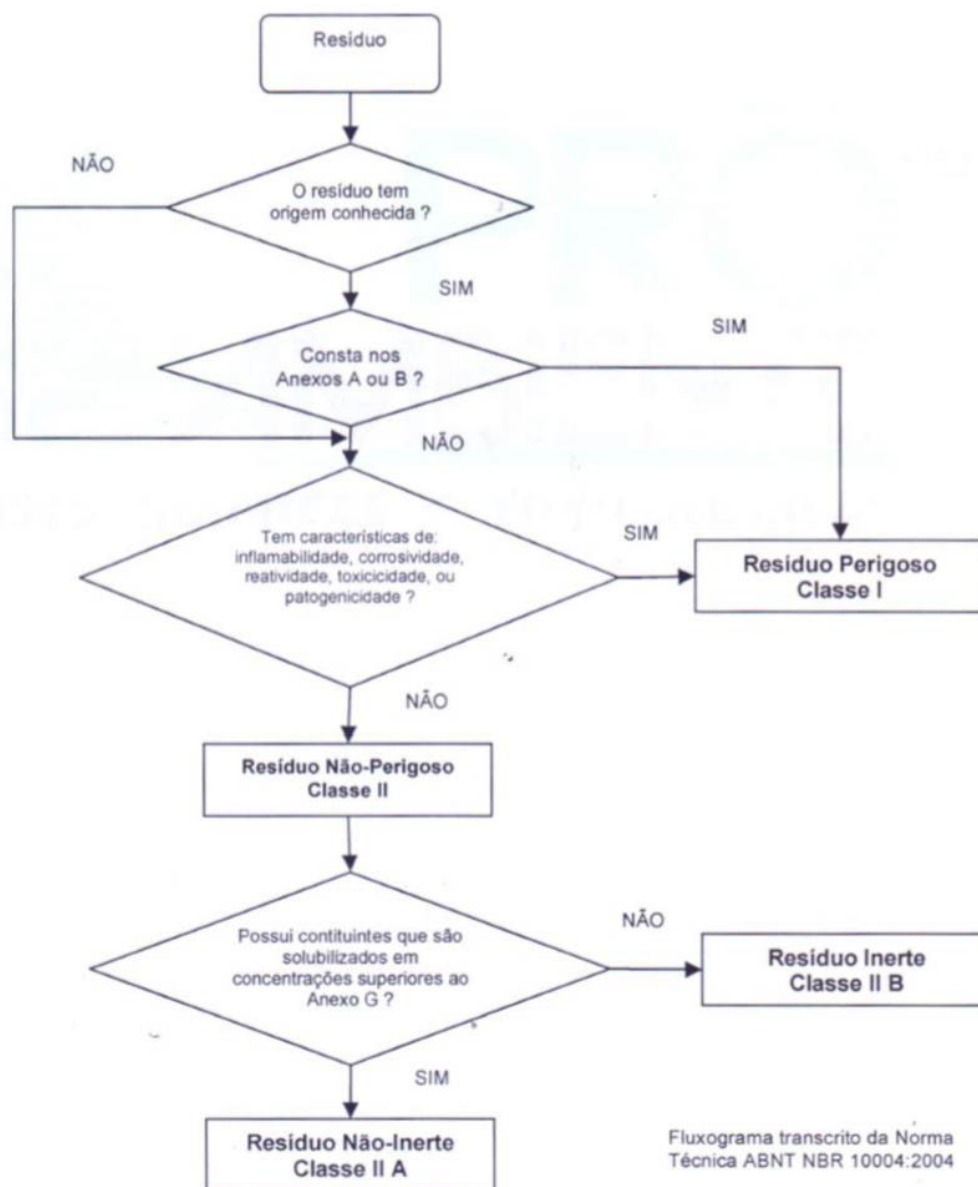


Figura 1. Fluxograma da NBR 10004: 2004 para classificação de resíduo

Na análise química utilizou-se a técnica de espectrometria fluorescência de raio-X, obtidos a partir de análise quantitativa realizada através da técnica em amostra fundida com curva de calibração a partir de padrões de rocha já que o pitcher é um material que nunca foi analisado anteriormente. A distribuição granulométrica foi determinada no LAPROM – Laboratório de Processamento Mineral – UFRGS utilizando água e ultrassom à 60 s.

A densidade de um corpo, define-se como o quociente entre a massa e o volume desse corpo. Desta forma pode-se dizer que a densidade mede o grau de concentração de massa em determinado volume ⁽⁵⁾. Para isso, foi utilizado o multiplicômetro do LACER – Laboratório de Cerâmicos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul com 4 gramas de pitcher em 60 segundos. Já a avaliação de corrosividade foi realizada com água em uma proporção de 1:1 e as análises gerais de estruturas foram observadas através de imagens por Microscopia Eletrônica de Varredura.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise química foi obtida por Espectrometria de fluorescência de raio-X e apresentou os seguintes resultados, Tabela 1:

Tabela 1. Resultado de elementos maiores em % em peso dos óxidos

Padrão	Pitcher
SiO ₂	67,72
Al ₂ O ₃	22,87
TiO ₂	0,44
Fe ₂ O ₃	1,75
MnO	0,03
MgO	0,12
CaO	1,19
Na ₂ O	1,50
K ₂ O	2,73
P ₂ O ₅	0,03
LOI	0,28
Total	98,66

A louça sanitária é fabricada com massas constituídas basicamente de argilominerais (argila plástica e caulim), quartzo, feldspato podendo incluir rochas cerâmicas como granito, pegmatito e filito como fundentes ^(6,7). Logo, o espectro obtido se mostrou coerente com a literatura, comprovando assim que o pitcher tem potencial de uso, pois ainda possui minerais reaproveitáveis, com pouca degradação

De acordo com as prescrições da Norma Técnica ABNT NBR 10004:2004 o resíduo pitcher é classificado como Resíduo não-inerte – classe II-A, não apresentando nenhuma propriedade que indique inflamabilidade ou reatividade.

O resíduo pitcher não apresentou concentração significativa de substâncias ou elementos que conferem periculosidade aos resíduos, listados no Anexo C da Norma Técnica ABNT NBR 10004:2004. Abaixo, seguem listados os resultados do ensaio de lixiviação, Tabela 2 e solubilização, Tabela 3:

Tabela 2. Resultado do ensaio de lixiviação conforme a NBR 10005 : 2004

Parâmetros	Unidades	Resultados da Amostra	Limites Máximos (NBR-10.004)
<i>Inorgânicos</i>			
Arsênio	(mg/L)	ND*	1,0
Bário	(mg/L)	0,5	70,0
Cádmio	(mg/L)	ND*	0,5
Chumbo	(mg/L)	ND*	1,0
Cromo Total	(mg/L)	ND*	5,0
Mercúrio	(mg/L)	ND*	0,1
Fluoreto	(mg/L)	ND*	150,0
Prata	(mg/L)	ND*	5,0
Selênio	(mg/L)	ND*	1,0

ND* = Não Detectado

Tabela 3. Resultado do ensaio de solubilização conforme a NBR 10006: 2004

Parâmetros	Unidades	Resultados da Amostra	Limites Máximos (NBR-10.004)
Fenóis Totais	(mg/L)	ND*	0,001
Mercúrio	(mg/L)	ND*	0,001
Arsênio	(mg/L)	ND*	0,01
Bário	(mg/L)	ND*	0,7
Cádmio	(mg/L)	ND*	0,005
Chumbo	(mg/L)	ND*	0,01
Cromo Total	(mg/L)	ND*	0,05
Alumínio	(mg/L)	2,51	0,2
Ferro	(mg/L)	0,34	0,3
Manganês	(mg/L)	ND*	0,1
Sódio	(mg/L)	7,8	200,0
Zinco	(mg/L)	ND*	5,0
Cobre	(mg/L)	ND*	2,0
Prata	(mg/L)	ND*	0,05
Selênio	(mg/L)	ND*	0,01
Cianeto	(mg/L)	ND*	0,07
Fluoreto	(mg/L)	ND*	1,5
Nitrato	(mg/L)	ND*	10,0
Cloreto	(mg/L)	3,0	250,0
Sulfato	(mg/L)	ND*	250,0
Surfactantes	(mg/L)	ND*	0,5

ND* = Não Detectado

O resultado da massa específica aparente, obtido por meio da média de duas determinações com picnômetros, foi de 2,60 g cm⁻³. Esse resultado encontra-se dentro da faixa de valores para a densidade real dos grãos das cerâmicas da região avaliadas por Sousa, 2016 ⁽⁸⁾.

A avaliação da corrosividade apresentou pH igual a 6,2, caracterizando ácido leve, ou seja, não se insere na faixa ácida que indica corrosividade (pH inferior a 2,0), conforme o item 4.2.1.2 da Norma Técnica ABNT NBR 10004:2004.

Para confecção das amostras o pitcher passou por um processo de seleção de granulometria, foi peneirado cerca de 20 Kg utilizando a seguinte sequência de peneiras: 18 MESH, 25 MESH, 30 MESH, 120 MESH e 400 MESH; sendo que cerca de 40% desse resíduo ficou retido nas peneiras de 120, granulometria essa que foi utilizada na avaliação. Na Figura 2 pode-se ver os pós obtidos após esse processo de peneiramento.

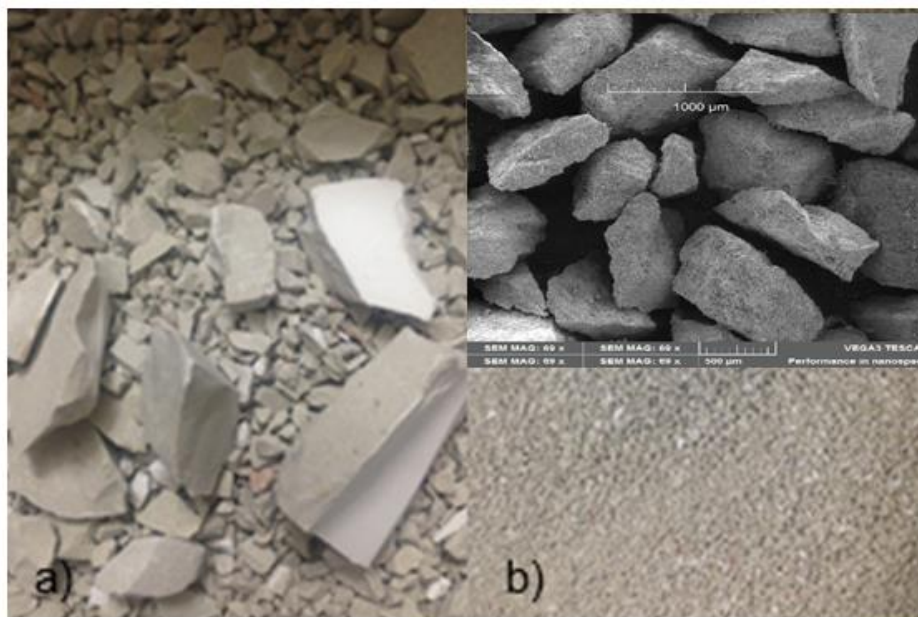


Figura 2. Pitcher em diferentes granulometrias: a) Resíduo de louça cerâmica após o processo de britagem; b) Pó obtido após o peneiramento em 120 MESH

Na Figura 2 pode-se perceber os diferentes tamanhos de partículas encontradas em uma mesma amostra de pitcher, ressaltando a importância da avaliação e seleção granulométrica.

O tamanho de partícula do pitcher amostra de MESH 120, designada de granulometria grosseira, foi determinada em análise de distribuição granulométrica no LAPROM – Laboratório de Processamento Mineral - UFRGS. Os resultados dessa análise podem ser visualizados na Figura 3. O diâmetro médio indicado pela análise é de 143 µm, e a distribuição é bimodal, sugerindo uma heterogeneidade de tamanho de partículas no conjunto amostral. O diâmetro das partículas maiores, estão em torno de 160 µm.

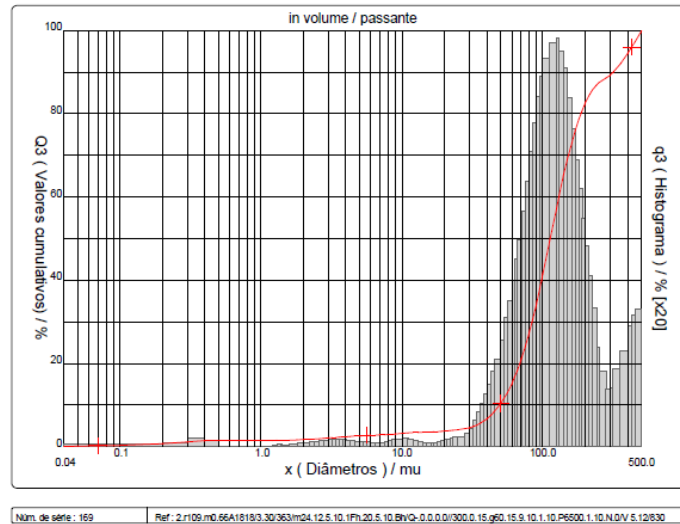


Figura 3. Distribuição Granulométrica do pitcher 120MESH

Dados de literatura informam que partículas com menor dimensão propiciam densidades mais altas do que a mistura com partículas mais grosseiras. Em contraponto, a heterogeneidade na granulometria aumenta o empacotamento das partículas e a densidade a verde⁽⁹⁾.

A sinterização ocorre no estado sólido pela movimentação de átomos para formar as ligações entre as partículas, na fase líquida o pitcher foi submetido a uma temperatura de 1100° C após compactado e sob diferentes pressões. A sinterização se dá pela fusão dos componentes, resultado de uma reação entre estes. Na Figura 4 podemos visualizar as amostras após a sinterização à 1100 °C:

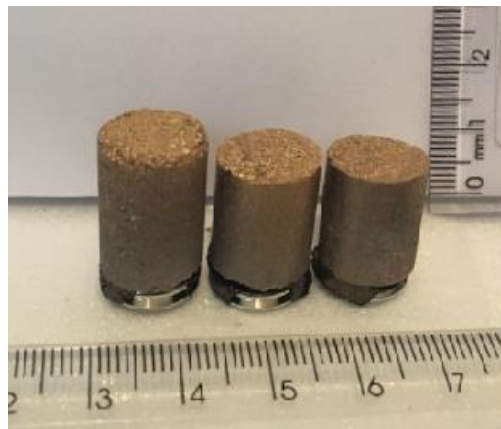


Figura 4. Amostras sinterizadas a 1100 °C

Na Figura 5 temos o resultado da microscopia eletrônica de varredura da granulometria grosseira, da seleção de MESH120, sinterizado à 1100°C. Podemos visualizar a estrutura geral e a porosidade nas diferentes amostras compactadas com força 300 Mpa e 700 Mpa com aumento de 1000 vezes:

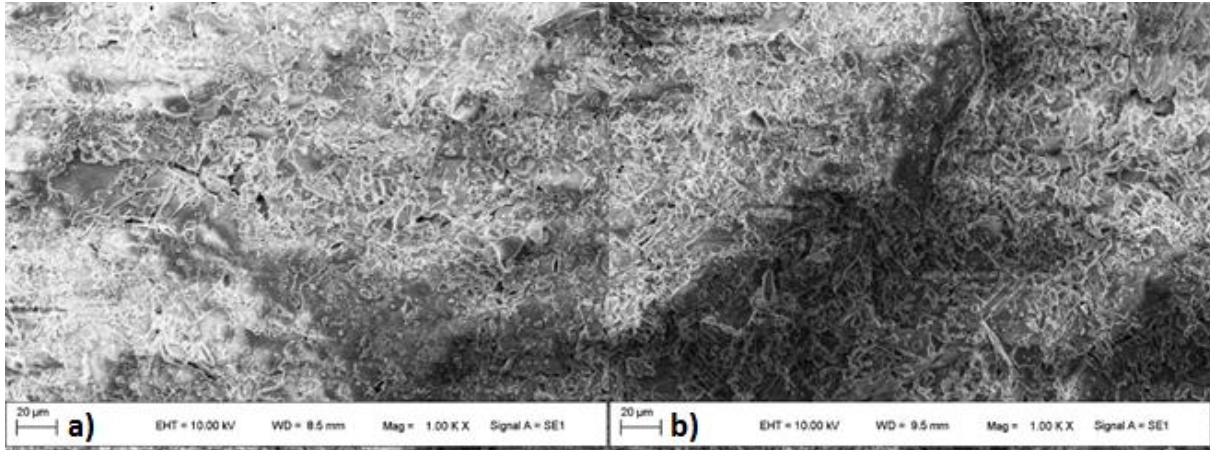


Figura 5. Amostras sinterizadas à 1100 °C granulometria grosseira: a) compactação 300 Mpa b) compactação 700 Mpa

Ambas as amostras demonstraram presença de poros, porém a amostra com menor compactação, 300 Mpa, apresentou fissuras, o que ocasiona uma estrutura frágil. Em muitas aplicações onde as propriedades mecânicas são um diferencial, necessita-se um aumento da densidade destas peças através de maior pressão de compactação, diminuindo assim gradativamente os poros, como podemos notar na amostra compactada à 1000 Mpa, Figura 6. Podemos visualizar também a estrutura porosa da amostra compactada com 1000 Mpa e sinterizada a 1100°C nos aumentos de 500 e 1000 vezes respectivamente.

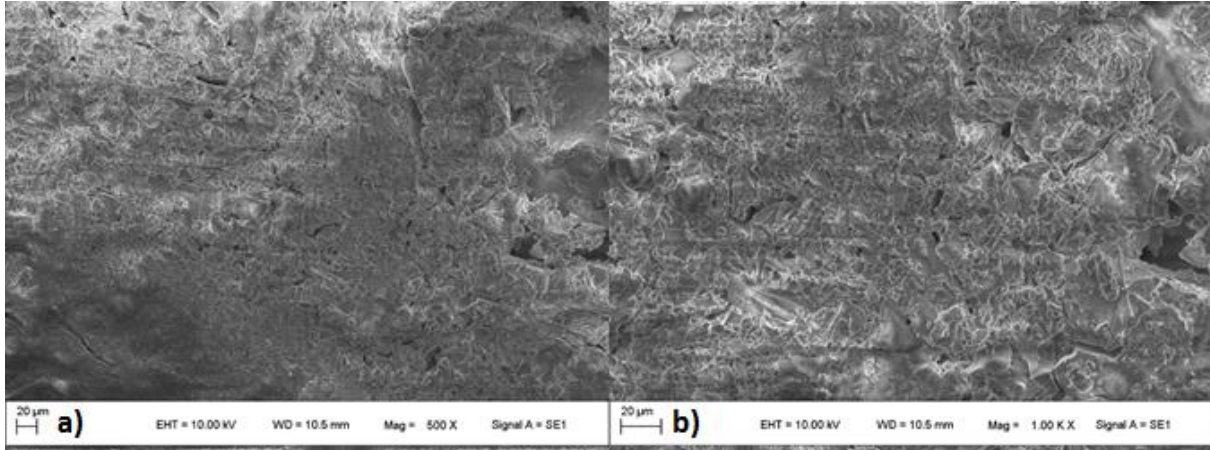


Figura 6. Amostras sinterizadas à 1100 °C granulometria grosseira - compactação 1000 Mpa: a) aumento de 500 vezes b) aumento de 1000 vezes

Nota-se variação no tamanho dos poros nas três pressões de compactação, com tendência de homogeneidade nos corpos de prova. Na Figura 6, pode-se perceber uma maior ocorrência de poros com abertura aproximada de 100 µm. A formação de porosidade fechada e esférica é esperada em amostras compactadas e sinterizadas, porém os poros irregulares, de maiores dimensões ou ainda interligados provavelmente sejam resultantes da presença de gases e da heterogeneidade das partículas do pitcher.

4 CONCLUSÃO

Através dos resultados obtidos após os ensaios realizados, pode-se concluir que o pitcher (pó de resíduo de louça sanitária) apresentou-se morfológicamente bem constituído apresentando resultados satisfatórios quanto às análises estudadas nesse trabalho, mostrando possuir um futuro promissor para sua aplicação na fabricação de peças utilizando tecnologia do pó. Porém, para uma maior qualidade no quesito quantidade de poros se faz necessário o estudo de diferentes temperaturas de sinterização e a realização de testes de permeabilidade.

REFERÊNCIAS

- 1 CASAGRANDE, M. C.; SARTOR, M. N.; GOMES, V.; DELLA, V. P. Reaproveitamento de Resíduos Sólidos Industriais: Processamento e Aplicações no Setor Cerâmico. **Cerâmica Industrial**, v.13 (1/2), p.35, 2015.
- 2 GUERRA, I; VIVAR, I; LLAMAS, B; JUAN, A. Eco-efficient concretes: The effects of using recycled ceramic material from sanitary installations on the mechanical properties of concrete. **Waste management**, v. 29, n. 2, p. 643-646, 2009.
- 3 JURAS, Ilidia da Ascensão Garrido Martins. **Legislação sobre resíduos sólidos: comparação da Lei 12.305/2010** com a legislação de países desenvolvidos. 2012.
- 4 ABNT, **NBR. 10004: 2004**. Resíduos sólidos: Classificação. Associação Brasileira de Normas, 2004.
- 5 AMIN, S. K.; SIBAK, H. A.; EL-SHERBINY, S. A.; ABADIR, M. F. An Overview of Ceramic Wastes Management in Construction. **International Journal of Applied Engineering Research**, v.11, n.4, p.2680-2685, 2016.
- 6 **CALLISTER**, W. D. Jr. Ciência e Engenharia de Materiais: Uma introdução. LTC Editora, 2008 Sétima Edição.
- 7 CARDOSO, S. R. F.; SANTOS, H. S.; COELHO, A. C. V; SANTOS, P. S. **Caracterização e propriedades cerâmicas de alguns caulins e argilas usados em cerâmica branca no Estado de São Paulo**. *Cerâmica Industrial*, v. 3, n. 3, p. 57-77, 1998.
- 8 DE SOUSA, João Batista Monteiro; DO NASCIMENTO, Paulo Henrique Moraes; BARBOSA, Antônio Gilson. **ANÁLISE DE MASSA ESPECÍFICA APARENTE NA PRODUÇÃO DE PORCELANATO UTILIZANDO RESÍDUOS DE CAULIM E GRANITO SINTERIZADOS A TEMPERATURA DE 1200 C**. XIII Congresso Nacional de Meio Ambiente, 2016.
- 9 CARTER, C.B.; NORTON, M. Grant. **Ceramic materials: science and engineering**. Springer Science & Business Media, 2007.

PROCESSOS DE RECICLAGEM DE PILHAS E BATERIAS: UMA REVISÃO DOS PRINCIPAIS MÉTODOS

Gomes, W.R.C.¹
Milke, E. C. ²

¹ *Doutorando em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, William Roger Carvalho Gomes, Instituto SENAI de Inovação – Soluções Integradas em Metalmeccânica, william.gomes@senairs.org.br.*

² *Doutor em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Eduardo Cristiano Milke, Instituto Federal Sul Rio-grandense, emilke@sapucaia.ifsul.edu.br.*

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

Resumo

O artigo teve como objetivo fazer uma revisão de literatura sobre os diferentes métodos de reciclagem, como os processos de recuperação hidrometalúrgico, pirometalúrgico e mineralurgia. O processo pirometalúrgico é aplicado como um tratamento ou pré-tratamento para retirar o mercúrio e materiais, como papel e plástico das baterias de íons de lítio. Este processo requer altas temperaturas, o que necessita de um controle da atmosfera, pois durante o processo surge compostos de cloreto, mercúrio e dioxinas. O método de hidrometalurgia é um conjunto de operações e processos realizados em meio aquoso, buscando a remoção de metais a partir de minérios, concentrados e resíduos industriais. Este processo é consideravelmente recente quando comparado aos processos pirometalúrgicos. Este trabalho foi desenvolvido considerando pesquisa em artigos científicos publicados, suas principais características e conclusões.

Palavras-chave: Pilhas; Baterias; Reciclagem; Método.

BATTERY AND RECYCLING PROCESSES: A REVIEW OF THE MAIN METHODS

Abstract

The article aimed to review the literature on the different recycling methods, such as hydrometallurgical, pyrometallurgical and mineralurgical processes. The pyrometallurgical process is applied as a treatment or pretreatment to remove mercury and materials such as paper and plastic from lithium ion batteries. This process requires high temperatures, which require a control of the atmosphere, because during the process arise compounds of chloride, mercury and dioxins. The hydrometallurgy method is a set of operations and processes carried out in aqueous medium, seeking the removal of metals from ores, concentrates and industrial wastes. This process is considerably recent when compared to pyrometallurgical processes. This work was developed considering research in published scientific articles, its main characteristics and conclusions.

Key words: Stacks; Batteries; Recycling; Method.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente a energia é um elemento essencial para a humanidade. Neste conceito as baterias possuem um papel fundamental nesse processo, pois além do armazenamento de energia, cada bateria necessita depois do consumo de energia, dar um destino final, sendo um ato contrário à proteção do meio ambiente ⁽⁷⁾.

Por esse motivo, existe a necessidade de reverter os processos que ocasionam degradação ambiental do descarte inadequado de pilhas e baterias, em consequência da produção e do consumo desenfreado. Tomando como base essa relação, é imprescindível buscar formas de desenvolvimento compatível com a conservação da natureza, permitindo exigir um conjunto de ações científicas e tecnológicas, buscando a diminuição dos impactos sanitários e ambientais ⁽¹⁴⁾.

Outro ponto importante a levar em conta, que em virtude da nova legislação ambiental que regulamenta o descarte de baterias em vários países, é necessário promover a sua reciclagem. Laboratórios e empresas de todo mundo, promovem pesquisas para desenvolver novos processos de reciclagem de baterias usadas ou, em determinados casos, desenvolvem novos métodos de tratamentos para permitir um descarte final seguro ⁽⁸⁾. O objetivo deste estudo é descrever os principais processos de reciclagem de pilhas e baterias atualmente utilizadas.

2 MÉTODOS DE RECICLAGEM

Os processos de reciclagem de pilhas e baterias podem seguir três linhas distintas: a baseada em operações de tratamento de minérios, a hidrometalúrgica ou a pirometalúrgica. Algumas vezes estes processos são específicos para reciclagem de pilhas e baterias, outras vezes as pilhas e baterias são recicladas juntamente com outros tipos de materiais ⁽²⁾.

Abaixo segue a descrição de alguns desses processos, mencionados com maior frequência na literatura utilizada.

2.1 Processo Pirometalúrgico

2.1.1 SUMITOMO

Este processo de recuperação e reciclagem de pilhas e baterias foi desenvolvido pela empresa Japonesa Sumitomo Metal Mining Co., Ltd. (SMM) a qual alcançou o primeiro método prático no Japão para recuperar e reciclar o cobre e níquel contidos nos elementos gerados a partir da bateria recarregável de íons de lítio. Esta técnica é totalmente pirometalúrgica de custo bastante elevado é utilizado na reciclagem de todos os tipos de pilhas, menos as do tipo Ni-Cd ^(1,3).

As baterias recarregáveis de íons de lítio têm um conteúdo de metal menos valioso do que as baterias de hidreto de metal de níquel e geram uma lucratividade pobre na reciclagem, tornando a recuperação de objetos de valor economicamente difícil. A Sumitomo estabeleceu um fluxo de processamento que combina o processo de refino pirometalúrgico de cobre da Toyo Smelter & Refinery na cidade de Saijode, com o processamento hidrometalúrgico do níquel da Refinaria de Níquel em Niihama, controlando com precisão a concentração de impurezas nas matérias-

primas, conseguindo a única recuperação bem-sucedida do cobre e níquel no Japão (4).

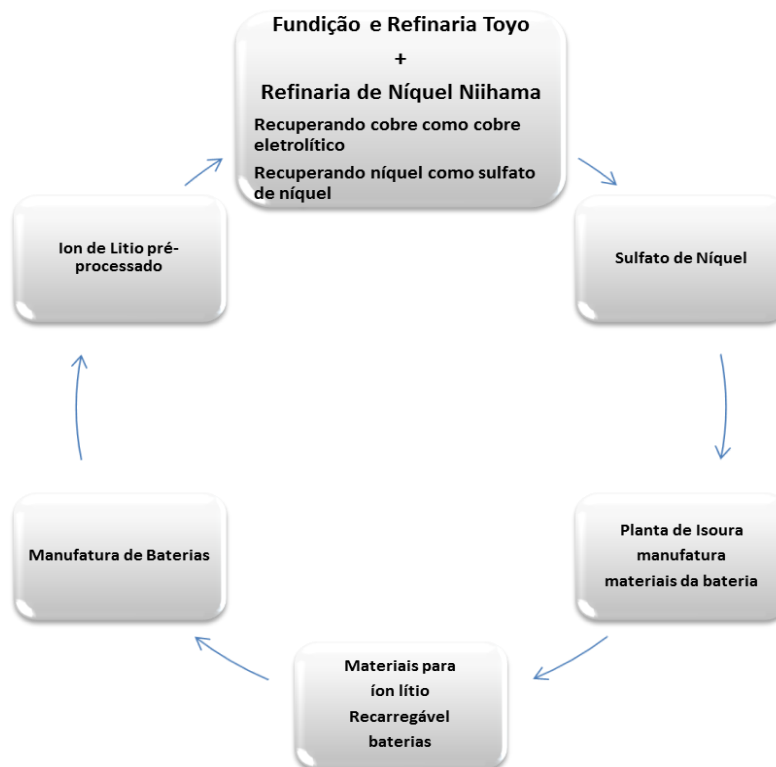


Figura 1 - Fluxo do processo de reciclagem (4).

O níquel recuperado é processado com sulfato de níquel em eletrodo positivo material para baterias recarregáveis na Usina de Isoura (na cidade de Niihama,, alcançando a primeira reciclagem de "bateria para bateria" do Japão a partir de resíduos baterias recarregáveis de íons de lítio (4).

2.1.2 SNAM-SAVAM

O Snam (*Société Nouvelle Daffinage d'es Metaux*) opera desde 1985, e a entidade Savam (*Societe Aveyronnaise de Valorização d "es Metaux*) começou a operar em 1988 com a mesma tecnologia usada por Snam para reciclagem de baterias Ni -Cd. Atualmente, este processo também é usado em baterias Ni-Cd e NiMH. O processo inicia-se com a separação automática das baterias, seguida de um processo de destilação com vapor Cd e uma liga Fe-Ni (7).

O processo SNAM-SAVAM é francês, apresentando um método totalmente pirometalúrgico e aplicado na recuperação de pilhas e baterias tipo Ni-Cd e íons de lítio (1,3).

O processo SNAM / SAVAM consiste em desmanchar as células de bateria, e comprimi-los em embalagens cilíndricas de 900 mm de diâmetro; 900 mm de altura, que são tratadas termicamente em fornos elétricos, sendo que o material é fundido a 900 °C (5).

O nível obtido de pureza do cadmio é superior à 99,95 %. O níquel é recuperado em fornos elétricos por fusão em um processo de redução. A produção

de óxido de cádmio em fornos abertos é rejeitado devido apresentar uma condição de trabalho muito insalubre ⁽⁶⁾.

O material contendo Cd é inicialmente passado por um processo de pirólise que remove os materiais orgânicos e, em seguida, destila o Cd. O Cd é resfriado, derretido e vendido para os fabricantes de baterias Ni-Cd ou para a indústria de revestimento. O resíduo de Fe-Ni é tratado por fusão do material contendo Ni, mas não contendo o Cd. O resultado é uma liga Fe-Ni vendida na planta siderúrgica ⁽⁷⁾.

2.1.3 SAB-NIFE

Na Suécia, este processo de reciclagem de baterias industriais e portáteis de Ni-Cd está em operação desde a década de 1980. É um dos primeiros processos totalmente pirometalúrgico para baterias Ni-Cd e foi originalmente desenvolvido para baterias de automóveis, e se assemelha com o processo SNAM-SAVAM ⁽⁷⁾.

O primeiro passo no processo é remover o eletrólito, limpar e secar os eletrodos. O material é carregado em um único reator, operando em três etapas. A primeira etapa é para remover as substâncias orgânicas, utilizando temperaturas entre 400 e 500°C por um período de 24 horas. Nesta operação é necessário evitar a evaporação do cádmio com uma mistura de nitrogênio e oxigênio com concentração entre 3 a 12%. Após essa fase de pirólise, o forno é aquecido a uma temperatura de 900°C durante 20 horas para destilação do cádmio. O vapor de cádmio é transferido para um condensador a uma temperatura de 450°C para sua recuperação. Na última etapa a temperatura no reator é elevada a aproximadamente 1300 °C, para se obter a liga de ferro-níquel ^(1,3).

2.1.4 INMETCO (International Metals Reclamation Company)

O Processo Inmetco é da empresa Norte Americana INCO (Pennsylvania, EUA), e foi desenvolvido originalmente com o objetivo da recuperação de poeiras metálicas provenientes de fornos elétricos ^(1,3).

O processo envolve a formação de agregados de poeira juntamente com um agente redutor baseado em carbono (pellets auto-redutoras). Os Pellets auto-redutoras são colocadas na parte inferior de um forno de forno rotativo, operando em temperaturas de até 1350 ° C. O diâmetro dos pellets é de cerca de 12 mm e a carga corresponde a três camadas de pellets ⁽⁷⁾.

Devido às altas temperaturas, a redução de óxidos é completada até em 15 min. Neste processo, metais voláteis como Pb e Zn são coletados do sistema de tratamento de gás. As pelotas de metal Fe-Cr são principalmente produzidas e depois fundidas em um forno elétrico a arco ⁽⁷⁾.

Este processo pode ser utilizado também na reciclagem de resíduos metálicos proveniente de outros processos. Por essa razão este processo pode ser adaptado para tratamento de baterias Ni-Cd, NiMH, NiFe, Li-íon e Zn-Mn ^(1,3).

A reciclagem e o tratamento das baterias de Ni-Cd apresentam 4 etapas. A primeira etapa as baterias são abertas manualmente para separação dos eletrodos e drenagem do eletrólito que posteriormente é utilizado para controle de pH na estação de tratamento de efluente. Na etapa seguinte a operação de moagem dos eletrodos positivos e a carcaça de aço e após essa etapa tudo é encaminhado ao forno ^(1,3).

Na Terceira etapa, os eletrólitos residuais são removidos por um processo de lavagem dos eletrodos negativos, e logo após são enviados juntamente com o agente redutor ao forno em uma temperatura de 950°C por um período de 12 a 14 horas com uma atmosfera com baixa concentração de oxigênio ^(1,3).

Por fim na quarta etapa, o vapor de cádmio é condensado e obtido com pureza acima de 99,95%, pode ser empregada para produção de novas baterias de Ni-Cd, como também na fabricação de revestimentos resistentes a corrosão e também para realçar a pigmentação ^(1,3).

A Figura 2 apresenta o níquel recuperado utilizado na fabricação de aço inoxidável.



Figura 2 - Fluxo do processo de reciclagem ⁽³⁾.

2.1.5 WAEELZ

Na Alemanha, antes da Primeira Guerra Mundial, foi desenvolvido o processo Waelz. Atualmente, o uso mais comum deste processo é o processamento de pó de forno de arco elétrico. Nos Estados Unidos, Europa e Japão, cerca de 1 milhão de toneladas de pó de forno de arco elétrico são processadas a cada ano ⁽⁷⁾.

O Processo pirometalúrgico WAEELZ é aplicado na recuperação de metais provenientes de poeiras por meio de fornos rotativos, sendo possível a recuperar metais como Zn, Pb, Cd ⁽⁹⁾.

O processo também se aplica a outros resíduos contendo Zn, como pilhas alcalinas portáteis que não contêm Hg. A carga residual é misturada com carbono e silício (Si) e introduzida no forno rotativo. A inclinação e a rotação do forno fazem com que a carga se mova para dentro. A temperatura de funcionamento é de cerca de 1200 ° C e o tempo de execução / duração / ciclo do processo é de cerca de 4 horas ⁽⁷⁾.

Os óxidos Pb, Zn e Cd são reduzidos e oxidados exatamente no topo da carga, produzindo um material em pó que se liga ao sistema de tratamento de gases de escape. O outro produto do processo é um óxido rico em Fe que não contém elementos tóxicos. Este produto pode ser usado para revestimento de estradas ou conversores para formar ferrugem (resíduo de queima) durante o processo de produção de ferro ^(1,3).

O produto coletado contém impurezas gerais, como Pb e álcalis. Em muitos casos, o processo Waelz é usado em dois estágios. Este pó é processado em um segundo forno produzindo óxido de Zn de alta qualidade que pode ser usado como matéria-prima para a metalurgia primária de Zn ⁽⁷⁾.

Neste segundo forno, não é adicionado agente redutor ou agente de fluxo e a carga consiste apenas no pó gerado no primeiro forno. O forno utiliza gás natural como fonte de aquecimento e a temperatura de operação é de 700 a 1000 °C ^(1,3).

2.1.6 ACCUREC

Este processo foi desenvolvido especificamente para a reciclagem de baterias de Ni-Cd. O primeiro forno foi instalado em 1997 e tinha uma capacidade de processamento de 500 toneladas por ano. Um segundo forno foi iniciado em 2000. A empresa está localizada em Mulheim, na Alemanha⁽⁷⁾.

Para o processamento de baterias industriais, o primeiro passo é, como no processo Inmetco, remover o eletrólito. O plástico e os metais são separados e reciclados para fora da unidade, que só contém as partes de Cd que são enviadas para o processo de destilação. Ao olhar para as baterias secas, apenas o plástico é removido para ser reciclado para fora da unidade. O restante do material é enviado para o processo de destilação. Após o processo de separação, as peças da bateria passam por um processo de destilação a vácuo. O forno é um tubo de quartzo no qual as pilhas são inseridas com o recipiente. Vedações de aço inoxidável vedam o tubo e o conectam ao sistema de condensação conectado à bomba vazia. O aquecimento da carga é obtido por meio de um forno de sino. O ciclo de processamento é realizado a uma pressão operacional de cerca de 10 mbar. Inicialmente, a temperatura sobe para 500 ° C para queimar o plástico e remover a água. Após o primeiro passo, a carga é aquecida a 850 ° C para a destilação de Cd⁽³⁾.

A literatura sugere a adição de agentes redutores, mas não há detalhes sobre quais são esses fatores ou quais são suas quantidades. Após cerca de 12 horas de processamento, o Cd formado no condensador tem uma pureza de 99,95%, a menos que ocorra um erro no processo de separação, fazendo com que a carga seja contaminada por outro tipo de bateria⁽⁷⁾.

2.1.7 BATREC

O processo BATREC foi desenvolvido pela empresa SUMITOMO LTDA e em operação na suíça. É um método pirometalúrgico, e apresenta uma capacidade de operação de reciclagem de aproximadamente de 3000 t/ano de pilhas. Esse processo em comparação os demais apresenta um custo elevado⁽³⁾.

Na Figura 3 é apresentado todo o método de reciclagem de pilhas e baterias.

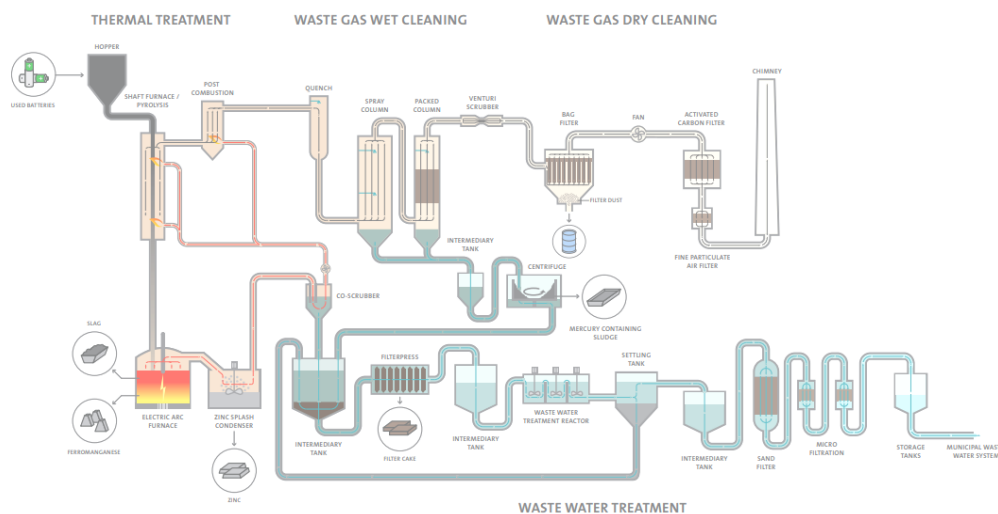


Figura 3 – Representação do processo BATREC⁽¹²⁾.

De acordo com a Figura 3, o processo é composto basicamente pelas etapas de pirólise, redução de compostos metálicos e condensação dos gases de zinco.

Neste método de reciclagem, cada tonelada processada gera ao todo 360 kg de liga ferro-manganês, 200 kg de zinco, 1,5kg de mercúrio e 20 kg de resíduo com um custo energético de 3500 kWh/Ton⁽³⁾.

Para este tratamento é necessário à classificação das baterias de íons de lítio e, em seguida, são moídas em atmosfera controlada. O lítio liberado é neutralizado, só assim é dado prosseguimento ao processo evitando a poluição atmosférica e os outros componentes como cobalto, metais não ferrosos e plásticos. Por fim os materiais são separados e retornam como matérias primas⁽³⁾.

2.2 Processo Hidrometalúrgico

2.2.1 RECUPYL

Este processo foi desenvolvido pela Recupyl SA, sendo testado na França e implementado em Cingapura. O processo é capaz de tratar 320 TPa de baterias de lítio, incluindo tipos de baterias primárias e secundárias. O processo usa uma combinação de etapas de tratamento físico e químico para produzir carbonato de lítio. A sucata da bateria é primeiramente tratada por esmagamento, separação magnética e separação de densidade para produzir um pó fino. O pó é então alimentado para um processo hidrometalúrgico, consistindo em etapas de hidrólise, lixiviação e precipitação. O lítio é recuperado ad Li_2CO_3 e o cobalto são recuperados como hidróxido de cobalto⁽¹⁰⁾.

O esmagamento das baterias é um processo em duas etapas, que ocorre em um triturador rotativo, a qual opera em uma atmosfera de CO_2 e 10-35% de argônio⁽¹¹⁾. O CO_2 reage com qualquer lítio elementar formando o Li_2CO_3 , que é menos reativo que o lítio elementar. As baterias trituradas são alimentadas para um processo de separação física. Os vapores gasosos da etapa de esmagamento é utilizada para criar uma atmosfera inerte acima da reação de hidrólise. O gás residual restante é alimentado para a etapa de precipitação de lítio⁽¹⁰⁾.

Os componentes refugados da bateria esmagada são separados por meio de diferentes métodos de peneiramento, magnético e densimétrico. Para a etapa de seleção, telas vibratórias de 3 mm e 500 μm são utilizadas⁽¹¹⁾. A fração de -3 mm contém óxidos e carbonos metálicos. Isso é ainda mais exibido na tela de 500 μm . As frações menores de 500 μm são ricas em cobalto e lítio. Já as frações maiores de 500 μm são ricas em cobre. A fração de cobalto é enviada para o processo de tratamento hidrometalúrgico e a fração rica em cobre é combinada com o aço e vendida. As frações maiores 3 mm é tratada por separação magnética. A fração contida na separação magnética contém o aço das carcaças da bateria, já a fração não magnética é posteriormente separada em uma tabela densimétrica. Considera-se fração não magnética de baixa densidade, papel e plástico. Metais não ferrosos reportam à fração não magnética de alta densidade. Cada uma dessas frações poderá ser comercializada⁽¹⁰⁾. Na Figura 4 é apresentada p diagrama do fluxo para o processo Recupyl.

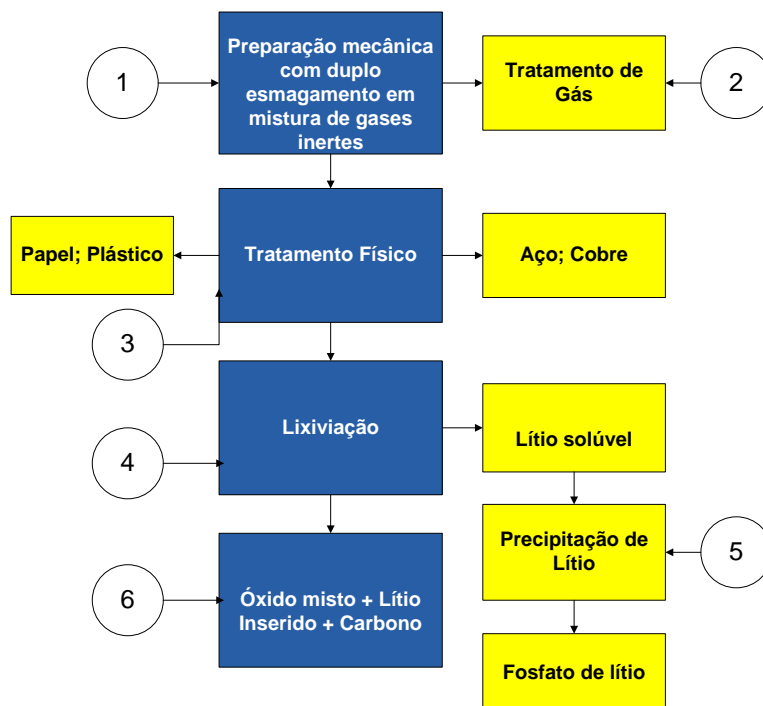


Figura 4 - Diagrama de fluxo para o processo Recupyl – adaptado ⁽¹¹⁾.

No tratamento por hidrólise, é realizada a separação física do material fino, sendo adicionada uma solução de hidróxido de lítio para atingir um pH entre 12 e 13 ⁽¹¹⁾. O lítio dos eletrodos se dissolve para produzir sais de lítio em solução. Nesta reação de hidrólise gera hidrogênio, a qual é necessário utilizar um gás inerte nesta etapa para liberar o hidrogênio ⁽¹¹⁾.

Os óxidos de metal e carbono gerados são suspensos em solução e são separados por filtração, e a solução contendo lítio é encaminhada para um passo de precipitação de lítio. O lítio é precipitado da solução alcalina de lixiviação como Li_2CO_3 , usando gás CO_2 . Esta precipitação ocorre em um pH de 9, o que é alcançado pela adição de ácido. O precipitado é lavado com uma solução saturada com CO_2 e seco a $105\text{ }^\circ\text{C}$ ⁽¹¹⁾.

Os sólidos suspensos nesta etapa de hidrólise é lixiviada em ácido sulfúrico a um pH de 3 e uma temperatura de $80\text{ }^\circ\text{C}$. Os óxidos metálicos dissolvem-se, deixando carbono no resíduo. O produto de lixiviação é filtrado e a solução é purificada antes da precipitação de cobalto ⁽¹¹⁾.

No processo de purificação, o cobre e o ferro são removidos da solução. O cobre é cimentado pela adição de tiros de aço. A soda é adicionada para aumentar o pH para 3,85 a fim de precipitar o ferro. A solução isenta de cobre e ferro é alimentada à precipitação de cobalto ⁽¹¹⁾.

O cobalto é recuperado da solução por meio da eletrólise ou por precipitação como $\text{Co}(\text{OH})_3$ através da adição de hipoclorito de sódio. A solução restante contém algum lítio e é enviada para a etapa de precipitação de lítio ⁽¹¹⁾.

2.2.2 ZINCEX

O processo ZINCEX foi desenvolvido originalmente pela Técnicas Reunidas, para ser aplicado no tratamento de poeiras provenientes de fornos de aciaria, sofrendo algumas modificações e simplificações, principalmente nas etapas de lixiviação, de remoção de impurezas e no tratamento de efluentes ⁽¹³⁾. Este processo

é hidrometalúrgico apresentando um com baixo consumo energético em sua operação⁽³⁾. Este processo é representado em uma forma simplificada na Figura 5.

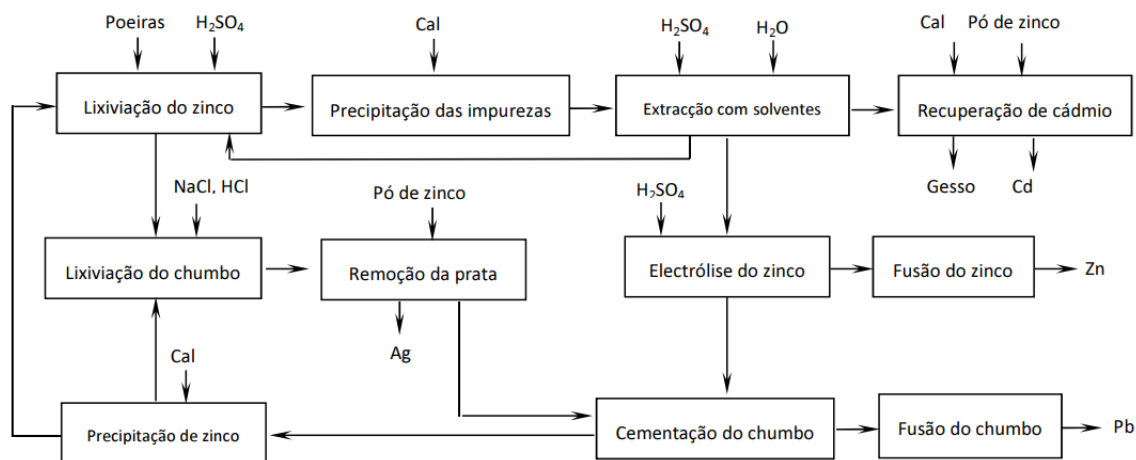


Figura 5 - Fluxograma representativo do tratamento de poeiras utilizando o processo ZINCEX modificado⁽¹³⁾.

O zinco é lixiviado em uma solução diluída de ácido sulfúrico em pressão atmosférica e na temperatura de 40 °C. Após, a mistura é filtrada, sendo depositados os rejeitos oriundos do processo em aterro. Caso haja a necessidade de recuperar metais não lixiviados durante a primeira etapa, é necessário realizar uma análise econômica e ambiental para esta recuperação. Neste caso, havendo a necessidade, submete-se o resíduo a uma segunda lixiviação em salmoura a quente, seguida de uma cementação com pó de zinco⁽¹³⁾.

Conforme a composição do lixiviado, este pode ser purificado por precipitação com cal, ajudando na remoção de eventuais impurezas, como o ferro e o alumínio, formando-se hidróxidos e gesso⁽¹³⁾.

Após a etapa de purificação, o lixiviado é enviado diretamente para um sistema de extração com solventes, usando como solvente o DEHPA com querosene. O zinco é transferido para a fase orgânica, sendo lavado com água para remoção de impureza. O teor de recuperação do zinco das poeiras é de 70 a 90%, dependendo esse valor do teor de zinco presente como ferrite⁽¹³⁾.

2.2.4 TNO

Este procedimento foi desenvolvido para reciclagem de baterias de Ni-Cd, visando a restauração de Cd, Ni e Fe, bem como a reciclagem de pequenas pilhas secas e alcalinas. O processo de reciclagem de baterias de Ni-Cd começa reduzindo a quantidade de resíduos usando os moinhos de facas. No final deste passo, o tamanho é inferior a 15 mm. O material é então classificado em fração fina com partículas menores que 3 mm, e em fração grossa com partículas maiores que 3 mm⁽⁷⁾.

Neste processo é realizada a separação magnética dos materiais que contém aço com baixa concentração de níquel e cádmio. Para a remoção do Cadmio é utilizada a lavagem com solução de 6N de HCl em temperatura de 30 a 60°C. Neste

método utiliza-se a lixiviação com solução ácida HCl a uma temperatura de 90°C, com razão sólido/líquido de 1/10. Na etapa de extração líquido - líquido é utilizada uma solução orgânica de 75% de trifosfato de butila (TBP) e 25% do diluente Shellsol R. Na Reextração líquido-líquido utiliza-se uma solução clorídrica^(1,3).

Na etapa de eletrólise para remoção do cádmio e o ferro é eliminado da solução precipitando-o em pH₄. A eletrólise também é usada para a precipitação do níquel da solução^(1,3).

Por fim, o tratamento de pilhas alcalinas sofre uma alteração após a lixiviação, no qual a solução é oxidada com NaOCl e, em seguida é filtrada para a remoção do MnO₂, carbono e plásticos. O Zn(OH)₂ é obtido por precipitação e o mercúrio é extraído da solução por eletrólise^(1,3).

2.3 Processo Combinatório

2.3.1 RECYTEC

Este processo é utilizado na Suíça nos Países Baixos desde 1994 que combina pirometalurgia, hidrometalurgia e mineralurgia. O processo é capaz de processar aproximadamente 2000 toneladas de baterias portáteis por ano. E tem etapas semelhantes com o Sumitomo, mas o investimento deste processo é menor que o SUMITOMO, entretanto os custos de operação são maiores. A diferença entre este processo e a Sumitomo é que a fração sólida do processo de evaporação é tratada com tratamentos equivalentes à metalurgia de mineração. Por conseguinte, o material é isento de Hg é então moído^(1,3,7).

Também é utilizado na reciclagem dos mais diversos tipos de pilhas, lâmpadas fluorescentes e tubos diversos que possuam mercúrio. Para baterias de Ni-Cd este processo não é recomendado, visto que o procedimento correto é separar e enviar para uma empresa especializada nesse tipo de reciclagem^(1,3).

Este processo também é similar ao processo BATREC, com o objetivo de eliminar o mercúrio e os sais de cloreto por meio de um tratamento térmico. A principal diferença entre os processos, é que no BATREC requer um investimento de implementação menor e alcança uma partícula com uma granulometria máxima de 10 mm, após a evaporação e moagem^(1,3).

A temperatura de processamento é de 650 °C, e Hg e seus cloretos, presentes em baterias alcalinas são eliminados a temperaturas de 600 °C ou mais. Semelhante ao processo Sumitomo, o gás produzido é condensado Hg e processado em filtros de carvão ativado e enviado para um forno de pós-combustão. Uma fração grossa produzida é consistida em chapas de aço, zinco, compostos de cobre e grafite usados nos eletrodos. O aço é separado por um ímã, e o grafite das partes não magnéticas através de um separador de corrente de indutor. O restante do cobre e Zn são submetidos a tratamento hidrometalúrgico. Após a moagem, o óxido de Mn e parte do Zn permanecem concentrados na fração fina. Este material é então processado em outra unidade através do processo Waelz. O processo também pode ser utilizado para tratar outros resíduos contendo Hg, e lâmpadas fluorescentes. No entanto, as baterias de Ni-Cd devem ser separadas⁽⁷⁾.

2.3.2 REVATECH

No processo REVATECH as frações metálicas (magnética e não magnética), os plásticos e a fração fina contendo essencialmente os elétrodos das pilhas, são separadas através de processos físicos, processo esse chamado de “*black mass*”. Parte desta fração é processada por hidrometalurgia, em uma solução de ácido sulfúrico. Nesta etapa são recuperados sulfato de zinco ou sulfato misto de zinco e manganês, que podem ser usados posteriormente para produzir os respectivos óxidos metálicos ou sais de pureza comercial ⁽¹³⁾. O processo Revatech é apresentado em uma forma simplificada na Figura 6.

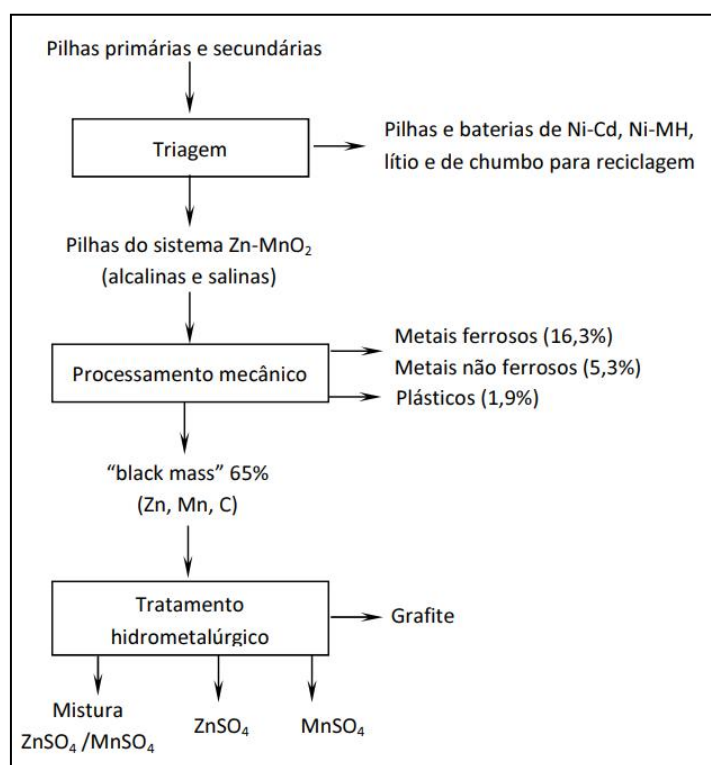


Figura 6 - Fluxograma representativo da reciclagem de pilhas do sistema Zn-MnO₂ pelo processo Revatech ⁽¹³⁾.

Agradecimentos

Ao professor Eduardo Cristiano Milke do Instituto Federal Sul Riograndense, que ao ministrar a disciplina de Reciclagem de materiais propiciou a oportunidade de realizar este trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 ESPINOSA, Denise Croce; TENÓRIO, Jorge Alberto. Reciclagem de pilhas e baterias. In: Seminário Nacional Sobre Reciclagem de Resíduos Sólidos Domiciliares, 2000, São Paulo. Seminário Nacional Sobre Reciclagem de Resíduos Sólidos Domiciliares - Governo do Estado de São Paulo Secretária do Meio Ambiente Cetesb, 2000.

- 2 ESPINOSA, Denise Crocce; TENÓRIO, Jorge Alberto. Reciclagem de Baterias: Análise da Situação Atual no Brasil. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, São Paulo, v. 1, n. 2, p.14, 2004.
- 3 TAKAHASHI, Vivian Cristina Inacio. **Reciclagem de baterias de íon de Li: condicionamento físico e extração do Co.** – ed.rev. - São Paulo, 2008, 90p. Dissertação (mestrado) – Escola Politécnica da universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia metalúrgica e de materiais.
- 4 SUMITOMO METAL MINING (Japan). Recycling of Lithium-Ion Rechargeable Batteries. **Sumitomo Metal Mining Co., Ltd**, Japan, p.1-2, 13 jul. 2017. Disponível em: <http://www.smm.co.jp/E/news/release/uploaded_files/20170713_en.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2018.
- 5 ELVERS, Barbara. **Ullmann's Energy: Resources, Process, Products.** Hamburg: Wiley-vch, 2015. 1401 p.
- 6 DAVI, Antônio Carlos et al. Descarte e destinação final de pilhas e baterias. **Simpósio Internacional de Ciências Integradas: UNAERP CAMPUS GUARUJÁ**, Guarujá, p.1-12, abr. 2013. Disponível em: <<http://www.unaerp.br/documentos/1088-descarte-e-destinacao-final-de-pilhas-e-baterias/file>>. Acesso em: 13 mar. 2018.
- 7 MATSOUKAS, Kleisthenis; NIKOLOULIS, Nikolaos. **Anakyklosi batarion.** 2006. 88 f. Tese (Doutorado) - Curso de Μηχανολογία, Tmima Technologies Petrelaiou & Fysikou Aeriou, Technologikó Ekpaideftikó Ídryma Anatolikís Makedonías Kai Thrákis, Kavala, 2006.
- 8 ESPINOSA, Denise Crocce Romano; BERNARDES, Andréa Moura; TENÓRIO, Jorge Alberto Soares. An overview on the current processes for the recycling of batteries. **Journal Of Power Sources**, Elsevier, v. 135, n. 1, p.311-319, 19 jul. 2004.
- 9 Egocheaga-Garcia Borja, **Developing The Waelz Process: Some New Possibilities For The Preparations of The Load in The Waelz Process and Ultradepuration of The Volatile Fraction Obtained in This Process.** Third International Conference On The Recycling of Metals 1997, ASM, 387-402.
- 10 SALOOJEE, Fadeela; LLOYD, Justin. **Lithium battery recycling process: Desktop Study.** Parklands: Crundwell Management Solutions (pty) Ltd, T/a Cm Solutions (pty) Ltd, 2015. 35 p.
- 11 TEDJAR, F.; FOU DRAZ, J. C., 2010. **Method for the mixed recycling of the lithium-based anode batteries and cells**, US Patent 7820317B2.
- 12 BATREC INDUSTRIE AG. **Battery Recycling.** Disponível em: <https://www.batrec.ch/media/archive1/Recycling-Dienstleistungen/Batrec_Batterierecycling_e.pdf>. Acesso em: 26 maio 2018.
- 13 PEDROSA, Fátima Maria Leal. **A hidrometalurgia na recuperação de metais contidos em resíduos ricos em zinco.** 2013. 359 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia do Ambiente, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2013.
- 14 CONTE, Andria Angélica. ECOEFICIÊNCIA, LOGÍSTICA REVERSA E A RECICLAGEM DE PILHAS E BATERIAS: REVISÃO. **RBCIAMB**, Curitiba, v. , n. 39, p.124-139, mar. 2016.

PROJETO CONCEITUAL DE UMA AERONAVE ULTRALEVE: PARTE 1 - PROJETO PRELIMINAR DA ESTRUTURA

Pires, M. A.¹

De Barba Junior, D. J.²

¹ Graduando em Engenharia Mecânica, Marcelo Antônio Pires, IFSul, e-mail: maikida@gmail.com.

² Doutor, Durval João De Barba Junior, IFSul, e-mail: debarbajr@sapucaia.ifsul.edu.br.

Resumo

Este trabalho apresenta a primeira parte do desenvolvimento da viabilidade de um projeto de uma aeronave ultraleve, motorizada eletricamente e abastecida por baterias recarregáveis, o que reduz significativamente o impacto ambiental quando comparado com aeronaves com motores convencionais de combustão interna. Procurou-se demonstrar a possibilidade de construir a estrutura da aeronave com liga de alumínio comum (série 1100 a 1200, temperada) em substituição a liga de alumínio aeronáutico (6061 T6), o que pode reduzir significativamente o preço da estrutura da aeronave. Também se analisou a alternativa de revestir a superfície superior da asa e da empenagem horizontal com células solares fotovoltaicas para carregar as baterias, aumentando a autonomia, propiciando independência da rede elétrica e novamente minimizando o impacto ambiental. Finalmente os resultados obtidos para o desempenho são semelhantes às aeronaves convencionais, com a vantagem de ter um custo energético muito menor, mas com a atual tecnologia de densidade de energia das baterias, a autonomia é bastante reduzida.

Palavras-chave: Aeronave ultraleve. Motor elétrico. Baterias recarregáveis. Células solares fotovoltaicas.

CONCEPTUAL DESIGN OF AN ULTRALEVE AIRCRAFT: PART 1 - PRELIMINARY STRUCTURE PROJECT

Abstract

This paper presents the first part of the feasibility study of an electrically powered, ultralight aircraft fueled by rechargeable batteries, which significantly reduces the environmental impact when compared to aircraft with conventional internal combustion engines. It was attempted to demonstrate the possibility of constructing the structure of the aircraft with common aluminum alloy (series 1100 to 1200, tempered) replacing the aeronautical aluminum alloy (6061 T6), which can significantly reduce the price of the aircraft structure. We also analyzed the alternative of coating the upper surface of the wing and horizontal empennage with photovoltaic solar cells to charge the batteries, increasing the autonomy, providing independence of the electric network and again minimizing the environmental impact. Finally the results obtained for the performance are similar to the conventional aircraft, with the advantage of having a much lower energy cost, but with the current technology of energy density of the batteries, the autonomy is quite reduced.

Key words: Ultralight aircraft. Electric motor. Rechargeable batteries. Photovoltaic solar cells.

1 INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é desenvolver um projeto preliminar da estrutura de um ultraleve com sistema propulsor elétrico abastecido por baterias, apresentando suas principais características de desempenho.

O artigo apresenta o conceito de uma aeronave que pode reduzir em mais de 50% os custos de operação em comparação a aeronaves convencionais, diminuindo, também, a complexidade do sistema propulsor e aumentando a segurança em voo e no solo.

Uma das preocupações ambientais a nível global é a emissão de gases poluentes, sendo os meios de transporte que utilizam combustíveis fósseis os maiores poluidores. O setor aeronáutico contribui de forma significativa para o aumento da emissão de gases poluentes, com aproximadamente 3,5% da emissão mundial. Mesmo assim, as empresas ligadas ao transporte aéreo têm demonstrado esforços no sentido de diminuir o impacto ambiental das suas atividades. Um exemplo disso é a maior eficácia das turbinas atuais, que chegam a ser 70% mais “eficientes” que as utilizadas na década de 1960⁽¹⁾⁽²⁾.

Hepperle⁽³⁾ afirma que é possível reduzir completamente as emissões de poluentes em certas categorias de aeronaves, como as de recreação e treinamento básico. A grande questão é que a tecnologia de veículos elétricos atuais está em desenvolvimento, sendo assim, o projeto de um sistema como este deve possuir características de alto desempenho em todas as áreas envolvidas.

O custo de operação é um problema enfrentado por proprietários de aeronaves e escolas de aviação, onde as maiores despesas recaem em processos de manutenção e aquisição de combustível⁽⁴⁾.

Quanto à relevância do tema, Monteiro⁽⁵⁾ explica que, existe a opção, mais acessível, iniciar na aviação aerodesportiva, para quem quer praticá-la como lazer, sem intenção de seguir carreira na aviação e voar somente com ultraleves. O candidato pode iniciar cursando as escolas de pilotagem de ultraleves, estudando as matérias exigidas de acordo com a licença pretendida, como CPD (Certificado de Piloto Desportivo), decolagem e pouso no aeródromo de origem, ou CPR (Certificado de Piloto de Recreio), autorizado a fazer navegações e pousos em outros aeródromos, fazer exames médicos em clínicas reconhecidas pela ABUL⁽⁶⁾ (Associação Brasileira de Ultraleves), junto a ANAC⁽⁷⁾ (Agência Nacional da Aviação Civil). Receber cerca de 20 horas instrução em ultraleves, fazer o exame com o avaliador da ABUL e receber o certificado.

A ANAC⁽⁸⁾, determina que uma aeronave experimental, que geralmente se caracteriza por não ser submetida a uma longa campanha de testes exaustivos, deve expor poucas pessoas ao risco e somente aquelas inerentes ao projeto. Desta maneira, aeronaves experimentais são restringidas a voar sobre áreas pouco povoadas, ou em alguns casos específicos, a áreas completamente isoladas. O voo sobre áreas densamente povoadas necessita de autorização específica, e o transporte de pessoas e bens com fins lucrativos é proibido. Em virtude dessas restrições, normalmente se utiliza tais aeronaves para lazer ou para experimentar novos conceitos. Portanto, é comum a participação de universidades, centros de pesquisa e entusiastas da aeronáutica no meio da construção amadora. A importância da existência dessa atividade no cenário da aviação brasileira é tal que, algumas iniciativas do setor vêm trazendo excelentes resultados para a comunidade

aeronáutica brasileira, viabilizando a inovação tecnológica e trazendo reconhecimento à vocação aeronáutica do Brasil no cenário internacional.

Para ANAC⁽⁸⁾ toda aeronave nasce experimental, esse é o caminho natural de qualquer tecnologia, onde o experimentalismo, o pragmatismo e o empirismo se encontram para apurar as novas técnicas e materiais. Sem a aviação de natureza experimental, não haveria o desenvolvimento como se conhece hoje. As aeronaves certificadas utilizadas na aviação comercial, com toda a tecnologia embarcada e segurança proporcionada por diversos sistemas em operação, um dia também foram desenvolvidas e testadas como aeronaves experimentais. Além disso, a construção amadora é uma vertente desse experimentalismo, cuja principal característica é o despertar do interesse pelo voo e pela construção de uma aeronave. Vários países reconhecem o valor da construção amadora e permitem sua existência em suas leis e regulamentos. No Brasil, o Código Brasileiro de Aeronáutica (Art. 67) estabelece como regra geral que todas as aeronaves devem ser certificadas, no entanto, permite a construção amadora e o desenvolvimento da aviação experimental.

A ANAC⁽⁸⁾ reconhece que uma aeronave certificada difere de uma aeronave experimental porque passa por um processo rigoroso de avaliação de projeto, testes de equipamentos e ensaios em voo, que explora as condições mais extremas de operação e demonstra o cumprimento com requisitos técnicos internacionalmente estabelecidos. Tudo isso com participação direta da autoridade aeronáutica. Esse rigor no desenvolvimento do produto provê um alto grau de confiabilidade e reduz a probabilidade de uma falha técnica, por outro lado, aumenta significativamente o custo da aeronave, inibe o desenvolvimento da aviação e de novas ideias no âmbito amador.

As ligas de alumínio são os materiais mais utilizados na fabricação de aeronaves. São empregadas em todos os tipos e tamanhos de aeronaves, desde ultraleves até aeronaves de grande porte. Essas ligas possuem grande resistência estrutural, boa elasticidade, são inoxidáveis e possuem baixa massa específica (cerca de 1/3 do aço estrutural), reduzindo consideravelmente o peso da aeronave⁽⁹⁾.

Conforme o trabalho de Treméa, Barbosa e Ferreira Jr⁽¹⁰⁾, o material mais utilizado para confecção do modelo por eles desenvolvido, foi o alumínio, contudo não foi adquirido o material aeronáutico por inviabilidade econômica. Se fosse optado pelo alumínio aeronáutico o projeto teria um acréscimo de 800% em seu valor, portanto a melhor escolha foi à liga de alumínio comum.

Quanto à motorização, externamente uma aeronave elétrica não possui grandes diferenças em relação a uma aeronave convencional, mas internamente, principalmente nos sistemas de armazenamento de combustível e no sistema de propulsão, estão as principais distinções.

Do ponto de vista energético, pode-se analisar as eficiências ligadas aos diferentes tipos de propulsão, como turboprop, turbofan, elétrico e híbrido, tendo assim, uma visão geral da eficiência de cada sistema⁽³⁾.

De acordo com a Figura 1, observa-se que um sistema puramente elétrico proporciona melhor aproveitamento da energia disponível. Porém, os sistemas turboprop e turbofan são os mais utilizados, devido ao fato dos combustíveis de aviação possuírem uma energia específica muito superior aos que a tecnologia atual de baterias conseguem armazenar, proporcionando, apesar de uma baixa eficiência, uma potência suficiente para aeronaves muito grandes.

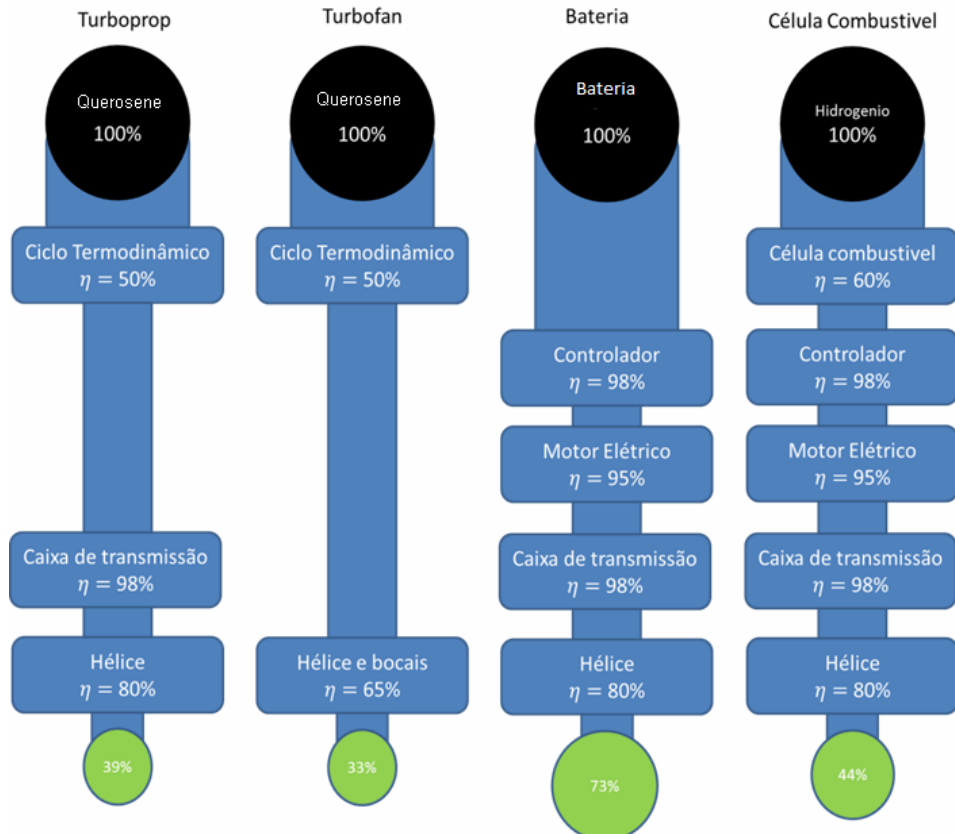


Figura 1: Esquema da cadeia de eficiência de diferentes modelos propulsivos, adaptado de Hepperle⁽³⁾.

As aeronaves movidas à propulsão elétrica com armazenamento de energia baseado em baterias possuem como principais componentes⁽¹³⁾:

- Motor elétrico;
- Controlador de potência;
- Baterias para armazenamento da energia.

Esta combinação de sistemas fornece várias vantagens se comparado às aeronaves que utilizam propulsão baseada em motores à combustão. Algumas destas vantagens são⁽¹³⁾:

- Menor peso (20 kg para os motores elétricos se comparado a 180 kg para motores a combustão);
- Maior potência por unidade de peso;
- Maior eficiência na conversão da energia (90-95% motores elétricos, 20-33% motores a combustão);
- Menor ruído;
- Menores níveis de vibração;
- Alta confiabilidade e segurança;
- Baixo custo de operação (\$5 à \$10/h nos motores elétricos, comparado a \$35 à \$50/h nos motores à combustão);
- Menores níveis de poluição.

Todas estas características demonstram que um sistema propulsivo elétrico pode aumentar as características de conforto em voo e reduzir os custos de operação de uma aeronave leve.

Uma aeronave que possua sua propulsão oriunda de um motor elétrico, que

seja alimentado por células combustível, células solares ou baterias, ao invés de combustíveis fósseis, pode ser configurada como aeronave elétrica. Este tipo de aeronave já vem sendo pesquisado desde a década de 1960⁽¹⁴⁾.

A primeira aeronave elétrica, que fez uso apenas de baterias, realizou seu primeiro voo em 2007. Projetada e construída pela empresa Eletravia⁽¹⁵⁾, a aeronave Electra era equipada com um motor elétrico de 26 hp e 47 kg de baterias de lítio-polímero e sobrevoou 48 milhas náuticas. Este voo foi um marco devido ao fato desta aeronave não possuir características de planador.

Na Europa, a empresa Airbus possui um programa de desenvolvimento de uma aeronave elétrica, dando origem ao E-FAN, que fez seu primeiro voo na França em março de 2014. Esta aeronave possui capacidade de carga apenas para o piloto, porém a empresa afirmou que este é o protótipo para o E-FAN 2.0, que terá capacidade para dois tripulantes, e em seguida uma versão para quatro tripulantes, que será lançada na configuração híbrida, com um pequeno motor montado dentro da aeronave para realimentar as baterias, segundo The High Flyer⁽¹⁶⁾.

No Brasil, a Itaipu Binacional⁽¹⁷⁾ com de seu programa de veículos elétricos, firmou parceria com a empresa ACS-Aviation para o desenvolvimento da aeronave elétrica para dois passageiros. Este projeto baseia-se na aeronave ACS 100 Sora desenvolvida pela ACS-Aviation. O conceito utiliza estrutura leve e a aerodinâmica refinada da aeronave ACS 100 Sora, juntamente com o sistema de propulsão elétrico e o banco de baterias desenvolvido pela Itaipu para fazer a primeira aeronave elétrica brasileira a voar.

Por meio da revisão bibliográfica e da extensa pesquisa em fontes digitais sobre o tema, onde atualmente, existem algumas referências sobre o assunto na ABRAEX⁽¹⁸⁾ (Associação Brasileira de Aviação Experimental), foi proposto restrições e requisitos como: velocidade de cruzeiro, velocidade de estol, coeficiente de segurança, carga de alar etc. A partir das características propostas para a aeronave, foi modelado um esboço com dimensionamento provisório, estimando o centro aerodinâmico.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizada uma estrutura de projeto baseada nas quatro principais metodologias apresentadas pelos autores: Torenbeek⁽¹⁹⁾, Roskan^(20, 21, 22), Raymer⁽²³⁾ e Vandaele⁽²⁴⁾. Estas foram estudadas e comparadas por Barros⁽²⁵⁾ resultando em uma proposta de uma nova metodologia especificamente para desenvolvimento de aeronaves leves subsônicas. A bibliografia básica de engenharia aeronáutica utilizada foi Anderson⁽²⁶⁾ e Rodrigues⁽²⁷⁾.

A Figura 2 apresenta um diagrama que resume a metodologia, partindo do objetivo geral, que se ramifica em objetivos específicos, onde cada um possui uma entrada de dados, um tratamento das informações e finalmente, uma saída com resultados obtidos.

2.1 Revisão Bibliográfica

De acordo com a Organização Internacional de Aviação Civil (*International Civil Aviation Organization* – ICAO⁽²⁸⁾), a aviação geral compreende basicamente todos os serviços aéreos não operados por companhias aéreas, onde se define:

- **Serviços Aéreos** – Uma operação onde a aeronave é utilizada para serviços especializados como: agricultura, construção, fotografia, observação e

patrulhamento, procura e resgate, propaganda aérea, etc.

- **Operações de Transportes Aéreos Comerciais** – Uma operação onde a aeronave é utilizada para transporte de passageiros, cargas ou correio por remuneração ou contratação.

- **Operações de Aviação Geral** – Uma operação onde a aeronave é utilizada para transporte aéreo comercial ou operações de trabalhos aéreos. Dentro da categoria de aviação geral, existem outras subcategorias, dentre elas as aeronaves experimentais que podem ser utilizadas para lazer, recreação ou transporte pessoal. Nesta categoria se incluem as aeronaves históricas, réplicas ou restauradas, de exibição, planadores, ultraleves de construção amadora e, agora, as aeronaves leves esportivas (ALE, em inglês LSA – *Light Sport Aircraft*).

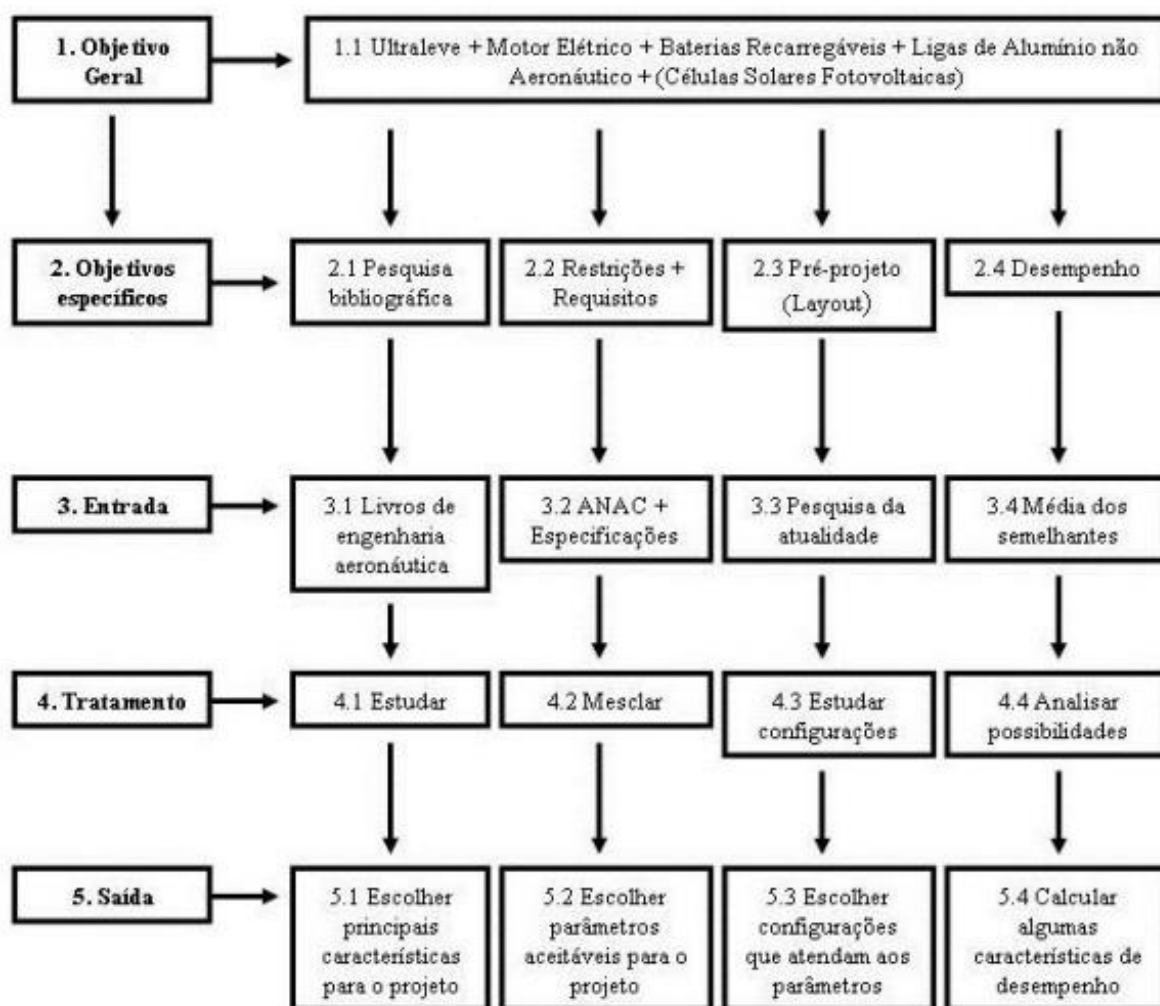


Figura 2: Representa um resumo do processo metodológico.

No Brasil, a ANAC⁽⁸⁾ determina que para uma aeronave ser certificada como ALE, ela precisa ter sido projetada, ensaiada e aprovada de acordo com as normas consensuais ASTM F2245 e também garantir conformidade com a FAR 23 nos EUA, com RBAC23 no Brasil ou com CS-VLA na Europa, dependendo da região desejada para certificação, segundo ASTM⁽²⁹⁾.

2.2 Modelando o Esboço do Ultraleve

A ANAC⁽⁸⁾ na RBAC01 possui sua regulamentação baseada na FAA – FAR23, e em 2011 o órgão brasileiro realizou atualizações que devem ser respeitadas

obrigatoriamente por aeronaves fabricadas a partir de 2014. A lista a seguir apresenta um resumo das principais características das normas apresentadas por diversos órgãos regulamentadores mundiais para aeronaves ALE:

- **Peso máximo de decolagem** menor ou igual a: 750 kg (Jar-VLA, CS-VLA, ASTM F2245); 600 kg para aeronave a ser operada a partir do solo; ou 650 kg para aeronave a ser operada a partir da água.
- **Velocidade máxima em voo** nivelado com potência máxima contínua, menor ou igual a 222 km/h, sob condições atmosféricas padrão ao nível do mar.
- **Velocidade nunca exceder** (VNE), menor ou igual, a 222 km/h.
- **Velocidade de estol** (ou velocidade mínima em voo estabilizado), sem o uso de dispositivos de hiper-sustentação em condições atmosféricas padrão ao nível do mar, menor ou igual, a 83 km/h no peso máximo de decolagem certificado e centro de gravidade mais crítico.
- **Razão de subida** maior que 2 m/s.
- **Assentos** para não mais do que duas pessoas, incluindo o piloto.
- Um único **motor**, alternativo, caso a aeronave seja motorizada.
- Uma **hélice** de passo fixo, ou ajustável no solo, caso a aeronave seja motorizada, mas não seja um motoplanador.
- Uma **cabine** não pressurizada, caso a aeronave tenha uma cabine.
- **Trem de pouso** fixo, exceto para aeronave a ser operada a partir da água ou planador.
- **Trem de pouso** fixo ou retrátil, ou um casco, para aeronave a ser operada a partir da água.

2.3 Dimensionando a Estrutura do Ultraleve

O ultraleve, deste trabalho, pode ser definido como uma aeronave de asa fixa mais pesada que o ar, movida por propulsão elétrica, que é mantido em condição de voo devido à reação dinâmica do ar que escoar através de suas asas. A Figura 3 representa as principais partes de uma aeronave convencional.

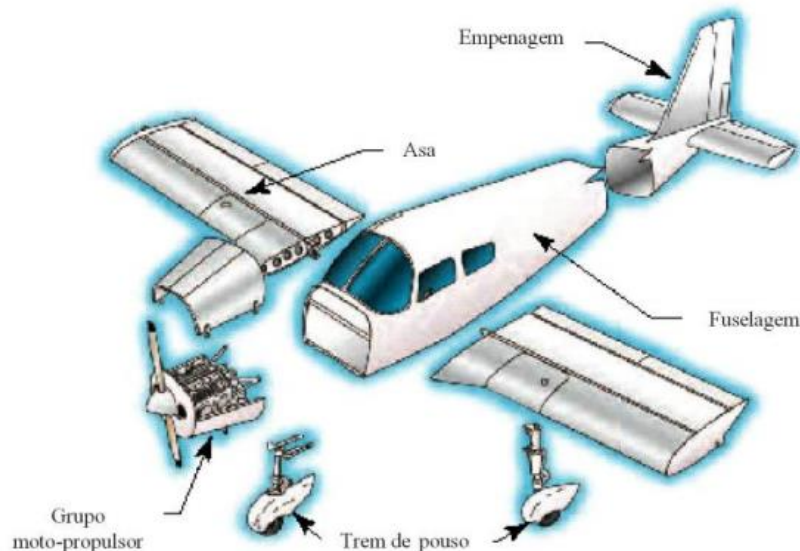


Figura 3: Partes principais de uma aeronave convencional, adaptado de Rodrigues⁽²⁷⁾.

As asas podem ser classificadas quanto a sua fixação na fuselagem em alta, média ou baixa. A Figura 4 mostra cada um dos modelos citados e a Tabela 1 apresenta as principais vantagens e desvantagens de cada modelo.

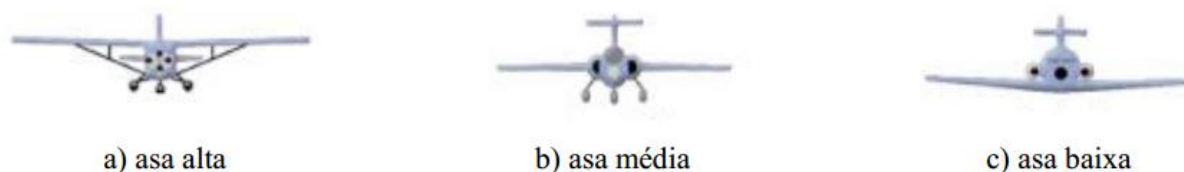


Figura 4: Classificação das asas quanto a sua fixação na fuselagem, adaptado de Rodrigues⁽²⁷⁾.

Tabela 1: Apresenta as principais vantagens e desvantagens de cada modelo de fixação de asa na fuselagem, adaptado de Rodrigues⁽²⁷⁾.

Asa	Vantagens	Desvantagens
Alta	Maior estabilidade lateral Minimiza o efeito solo Menor comprimento de pouso	Excesso de estabilidade Manobrabilidade lenta
Média	Minimiza o arrasto	Estrutura reforçada
Baixa	Asa apóia o trem de pouso Melhor manobrabilidade Menor comprimento na decolagem	Menor estabilidade lateral

As asas podem assumir várias formas geométricas, os principais tipos são: retangular, trapezoidal, mista ou elíptica. A Figura 5 mostra cada uma das formas geométricas e a Tabela 2 apresenta as principais vantagens e desvantagens de cada forma.

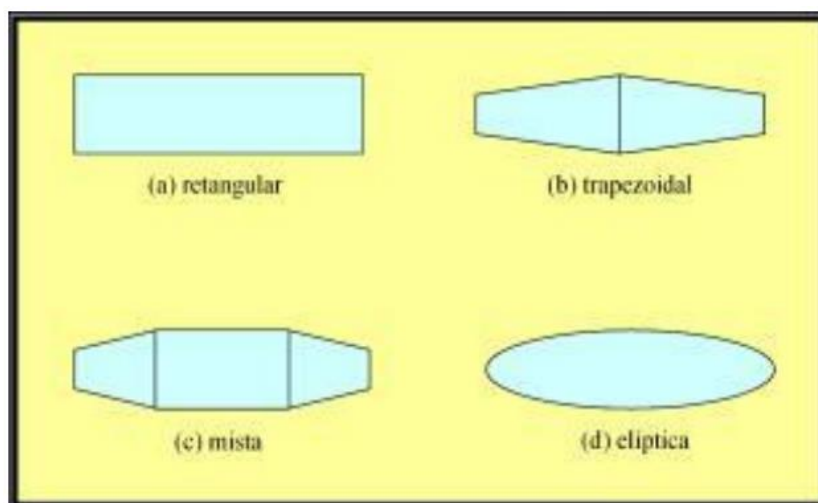


Figura 5: Principais formas geométricas das asas, adaptado de Rodrigues⁽²⁷⁾.

Tabela 2: Apresenta as principais vantagens e desvantagens de cada forma geométrica de asa, adaptado de Rodrigues⁽²⁷⁾.

Asa	Vantagens	Desvantagens
Retangular	Facilidade de construção Menor custo de fabricação	Baixa eficiência aerodinâmica Maior arrasto induzido
Trapezoidal	Ótima eficiência aerodinâmica	Construção mais complexa
Mista	Aumenta área da asa Menor velocidade de estol	-
Elíptica	Máxima eficiência aerodinâmica	Difícil fabricação Maior custo de fabricação

As principais configurações de empenagem utilizadas nas aeronaves são: convencional, cauda em T, cauda em V e cruciforme. A Figura 6 mostra cada uma das configurações e a Tabela 3 apresenta as principais vantagens e desvantagens de cada configuração.



a) convencional



b) cauda em T



c) cauda em V



d) cruciforme

Figura 6: Principais configurações de empenagem, adaptado de Rodrigues⁽²⁷⁾.

Tabela 3: Apresenta as principais vantagens e desvantagens de cada configuração de empenagem, adaptado de Rodrigues⁽²⁷⁾.

Empenagem	Vantagens	Desvantagens
Convencional	Menor peso estrutural	-
Cauda em T	Menor arrasto induzido	Estrutura mais pesada
Cauda em V	Menor área molhada Menor arrasto de interferência	Complexidade dos controles
Cruciforme	Intermediário entre convencional e cauda em T	-

O trem de pouso pode ser classificado de acordo com a disposição das rodas em triciclo ou convencional. A Figura 7 mostra cada uma das disposições e a Tabela 4 apresenta as principais vantagens e desvantagens de cada disposição.



a) triciclo



b) convencional

Figura 7: O trem de pouso pode ser classificado de acordo com a disposição das rodas, adaptado de Rodrigues⁽²⁷⁾.

Tabela 4: Apresenta as principais vantagens e desvantagens de cada disposição do trem de pouso, adaptado de Rodrigues⁽²⁷⁾.

Trem de pouso	Vantagens	Desvantagens
Triciclo	Melhor controle Melhor desempenho na decolagem	-
Convencional	-	Dificuldade de taxiar

Em aviões monomotores de pequeno porte, o grupo motopropulsor pode ser instalado na fuselagem em duas configurações: *tractor* ou *pusher*. A Figura 8 mostra cada uma das configurações e a Tabela 5 apresenta as principais vantagens e desvantagens de cada configuração.



a) *tractor*

b) *pusher*

Figura 8: O grupo motopropulsor pode ser instalado na fuselagem em duas configurações principais, adaptado de Rodrigues⁽²⁷⁾.

Tabela 5: Apresenta as principais vantagens e desvantagens de cada configuração do grupo motopropulsor, adaptado de Rodrigues⁽²⁷⁾.

Motopropulsor	Vantagens	Desvantagens
<i>Tractor</i>	Escoamento limpo da hélice Minimiza área do estabilizador Melhor refrigeração	Vórtices provocam perturbações Aumenta arrasto de atrito
<i>Pusher</i>	Escoamento limpo sobre asa Ruído reduzido Maior campo de visão	Maiores problemas de estabilidade Problemas de refrigeração

2.4 Remodelamento do Ultraleve

Basicamente o sistema propulsivo de veículos elétricos é composto por um motor elétrico que é, na maioria das vezes, acoplado diretamente ao eixo onde se deseja entregar trabalho, visando a não utilização de uma caixa de redução, possibilitando assim uma diminuição do peso total da aeronave, segundo Souza⁽³⁾.

Os motores DC de ímãs permanentes são especialmente conhecidos pela sua alta eficiência, e elevada relação potência/volume, é consequência da presença de ímãs permanentes no motor, o que resulta numa diminuição significativa de volume e de peso. A utilização de ímãs permanentes afasta a necessidade de fornecer energia ao motor para produzir polos magnéticos, segundo Fitzgerald, Kingsley e Umans⁽³⁰⁾.

O elemento que traz a maior complexidade em termos de aumento de desempenho é a fonte de energia, que devido a sua baixa densidade de energia, quando comparada a de combustíveis líquidos, faz o desenvolvimento de veículos desta natureza um processo custoso de alta complexidade, segundo Soyulu⁽³¹⁾.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 9 representa um resumo do processo de obtenção dos resultados.

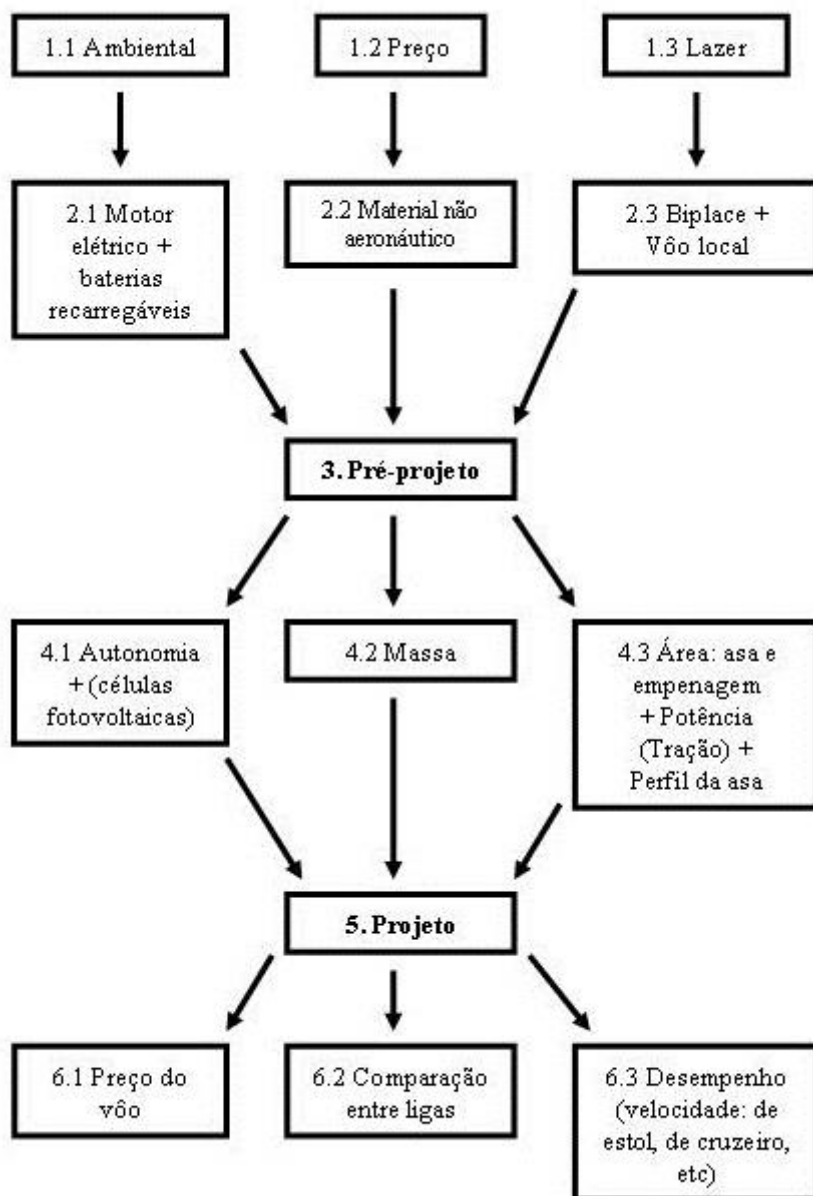


Figura 9: Resumo do processo de obtenção dos resultados.

A Figura 9 resume os resultados, partindo das justificativas, obtêm-se as prioridades, resultando em um pré-projeto, do qual, derivam alguns resultados, que convergem para o projeto, e deste, para os resultados finais.

Os resultados que serão apresentados foram obtidos com base nas propostas de valores iniciais que foram determinados a partir do projeto preliminar, dentro das normas da ANAC e de valores médios para a categoria de ultraleve em projetos consagrados, segundo Filipovic⁽³²⁾.

A Tabela 6 compara as principais características.

Tabela 6: Características de aeronaves elétricas atuais, segundo Souza⁽³⁾.

	Fabricante	GreenWing	EADS	Lange Aviation	Lange Aviation	Pipstrel	Electraflyer	Electraflyer	Electraflyer	Electraflyer	PC Aero	Eurosport aircraft	PC Aero
	Nome	GreenWing E430	E-FAN EADS	Arcus E	Antares 20E	Taurus Electro	Electraflyer ULS	Electraflyer C	Electraflyer X	Electraflyer X	Electra One PC Aero	Crossover	Electra two standard
Envergadura	m	13,8	9,5	20	20	14,97	11,28	13,9	15	8,6	9,6	14	
Comprimento total	m	6,98	6,67	8,73	7,4	7,27	6	6,5	7	6,5	6,9	7	
numero de assentos		2	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	
Massa vazio	kg	302	350	610	460	306	110	172	350	200	307	300	
MTOW	kg	472	550	810	660	450	240	283	550	300	600	472	
Velocidade de cruzeiro	km/h	95	169	115	115	120	65	112	130	160	200	140	
Vel estol c/ flapes	km/h	65	70	70	73	63	40,63	65	55	70	70	70	
Autonomia	horas		1				2	1,5	3	3		5	
Potencia	HP	64	80	56,32	57	53,64	20	18	50	21,46	80	40	
Peso/Potencia	lb/HP	16,23	15,13	31,64	25,47	18,46	26,40	34,59	24,20	30,75	16,50	25,96	

A Tabela 7 apresenta os valores médios das principais características de aeronaves elétricas atuais.

Tabela 7: Média dos valores das principais características, adaptado de Souza⁽³⁾.

		Media Elétricos
Envergadura	m	13,9
Comprimento total	m	6,98
numero de assentos		2
Massa vazio	kg	306
MTOW	kg	472
Velocidade de cruzeiro	km/h	120
Vel estol c/ flapes	km/h	70
Autonomia	horas	2,5
Potencia	HP	53,64
Peso/Potencia	lb/HP	25,47
Com./Envergadura		0,5

É importante ressaltar que os resultados apresentados foram obtidos a partir de várias iterações, pois diversas vezes é necessário modificar os valores de entrada para que os resultados finais estejam dentro de um intervalo aceitável para os parâmetros propostos. Por exemplo, é interessante que a aeronave tenha uma asa com maior alongamento possível, portanto, uma asa de grande envergadura e pequena corda média, o que reduz muito o arrasto parasita, porém, implica em uma estrutura de longarina muito robusta e conseqüentemente maior peso.

4 CONCLUSÃO

Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizada uma bibliografia principal composta de: livros de engenharia aeronáutica dos autores Anderson⁽²⁶⁾ e Rodrigues⁽²⁷⁾, trabalhos de Souza⁽³⁾ e Shilatha⁽¹³⁾, revista *Kitplanes Homebuilt Aircraft Directory* de Filipovic⁽³²⁾ e desenhos de Gonçalves⁽³³⁾.

Optou-se pela substituição do motor convencional motivo por Avgas, tradicional entre ultraleves, por um motor elétrico abastecido por baterias recarregáveis, o que minimiza o impacto ambiental e reduz bastante o preço do tempo de voo, porém aumenta a massa do ultraleve e reduz à autonomia.

Conclui-se que este trabalho apresentou o conceito de uma aeronave ultraleve que pode reduzir em mais de 50% os custos de construção e operação, em comparação a aeronaves convencionais. Capaz de reduzir a complexidade do sistema propulsor, aumentando a segurança em voo, no solo e minimizando os impactos ambientais.

REFERÊNCIAS

- 1 DILLINGHAM, G.L. Aviation and the Environment, United States Government: Accountability Office, 2008.
- 2 GALANTE, S. A aviação no século do aquecimento global. Flap Internacional, São Paulo, p.1-11, 31 ago. 2007.
- 3 HEPPELLE, M. Electric Flight: Potential and Limitations. Braunschweig: NATO– OTAN, 2012.
- 4 SOUZA, L. F. dos S. – Projeto conceitual de uma aeronave elétrica da categoria ALE (aeronave leve esportiva) – Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Aeroespacial) - Universidade Federal de Santa Catarina – Curso de Engenharia Aeroespacial - Joinville, 2015.
- 5 MONTEIRO, L. C. Passo a passo do iniciante na aviação. Disponível em: <<http://www.abraex.com.br>>- Acesso em: 21/08/2018.
- 6 ABUL – Associação Brasileira de Ultraleves - Disponível em: <<http://www.abul.com.br/abul/default.asp>> - Acesso em: 21/08/2018.
- 7 ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil - Disponível em: <<http://www.anac.gov.br>> - Acesso em: 21/08/2018.
- 8 ANAC - ANAC e a aviação experimental - 2015 - Disponível em: <<http://www.abraex.com.br>> - Acesso em: 21/08/2018.
- 9 RODRIGUES, L. E. M. J. – Fundamentos da Engenharia Aeronáutica – 1. ed. – São Paulo; Cengage Learnig, 2013.
- 10 TREMÉA, E. G., BARBOSA, A. de J., FERREIRA JR, R. R.; Modelo de avião pedagógico com ênfase nos comandos principais de vôo, flapes e perfis aerodinâmicos - Projeto de Pesquisa (Curso Superior de Tecnologia em Manutenção de Aeronaves) - Faculdade de Ciências Aeronáuticas - Universidade Tuiuti do Paraná, 2008.
- 11 ROTAX AIRCRAFT ENGINES – Disponível em <<http://www.flyrotax.com>> - Acesso em: 21/08/2018.
- 12 GIZMODO. Electric Motor for Sonex Sports Aircraft Cleared for Take-Off. Disponível em: < <https://gizmodo.com/282815/electric-motor-for-sonex-sports-aircraft-cleared-for-take-off> >.- Acesso em: 21/08/2018.
- 13 SRILATHA, A. R. Design of a 4-Seat, General Aviation, Electric Aircraft. 2012. 37 f. - Master's Theses –Department of Mechanical And Aerospace Engineering, San Jose State University, San Jose, 2012.
- 14 NOTH, A. History of Solar Flight - Autonomous Systems Lab, ETH Zürich, Switzerland, 2008. Disponível em: <<http://www.sky-sailor.ethz.ch>>- Acesso em: 21/08/2018.

- 15 ELECTRAVIA. Avion BL1E Electra. Disponível em: < http://www.air-souris-set.fr/archives/reportage_8/reportage_8.html > - Acesso em: 21/08/2018.
- 16 THE HIGH FLYER. The Plug-in plane. Disponível em: <<http://www.airbusgroup.com>> - Acesso em: 21/08/2018.
- 17 ITAIPU BINACIONAL. Projeto VE vai desenvolver o primeiro avião elétrico brasileiro. Disponível em: <<https://www.itaipu.gov.br>> - Acesso em: 21/08/2018.
- 18 ABRAEX – Associação Brasileira de Aviação Experimental – Disponível em: <<http://abraex.com.br>> - Acesso em: 21/08/2018.
- 19 TOREMBEEK, E.; Synthesis of subsonic airplane design – Delft University Press, 1976.
- 20 ROSKAM, Jan. Airplane Design. Lawrence: Roskam Aviation And Engineering Corporation, 1985. (I-VIII).
- 21 ROSKAM, Jan. Methods for estimating drag polars of subsonic airplanes. Lawrence, Kansas: The University Of Kansas, 1973.
- 22 ROSKAM, Jan; LAN, Chuan-tau Edward. Airplane Aerodynamics and Performance. Lawrence, Kansas: Darcorporation, 1997.
- 23 RAYMER, Daniel P. Aircraft Design: A Conceptual Approach. Reston: Aiaa Educational Series, 1999.
- 24 VANDAELE, R. M., Introdução ao projeto de aeronaves – Instituto Tecnológico de Aeronáutica – São José dos Campos, 1959.
- 25 BARROS, C. P. de – Uma metodologia para o desenvolvimento de projeto de aeronaves leves subsônica – Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Minas Gerais, 2001.
- 26 ANDERSON JR, J.D. – Fundamentos de Engenharia Aeronáutica: introdução ao voo – 7. ed. – Porto Alegre: AMGH, 2015.
- 27 RODRIGUES, L. E. M. J. – Fundamentos da Engenharia Aeronáutica – 1. ed. – São Paulo; Cengage Learnig, 2013.
- 28 ICAO. Working paper: Review of the classification and definitions used for civil aviation activities. Montréal: ICAO, 2009.
- 29 ASTM. ASTM F2245: Standard Specification for Design and Performance of a Light Sport Airplane: ASTM, 2007.
- 30 FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY JUNIOR, C.; UMANS, S. D. Máquinas Elétricas. 6. ed. Nova York: Artmed - Bookman, 2006.
- 31 SOYLU, Seref. Electric Vehicles: Modelling and Simulations. Marrakech: Intech, 2011.
- 32 FILIPOVIC, O. – Kitplanes Homebuilt Aircraft Directory– 2017 – December 2016, volume 33, number 12.
- 33 GONÇALVES, E. H. M. Dinâmica e Aerodinâmica de Aviões – para a aviação experimental. Disponível em: < <http://www.aviacaoexperimental.pro.br/indexedu.htm> - Acesso 21/08/2018.

PROJETO: ESPETO ROTATÓRIO AUTOSSUFICIENTE

Pires, M. A.¹

Apollo, A. L.²

Calcagno, C. I.W.³

¹ Graduando em Engenharia Mecânica, Marcelo Antônio Pires, IFSul, e-mail: maikida@gmail.com.

² Bacharel em Engenharia Mecânica, André Luís Apollo, e-mail: andre Luisapollo@gmail.com.

³ Doutora, Carmen Iara Walter Calcagno, IFSul, e-mail: carmen@sapucaia.ifsul.edu.br.

Resumo

Tradicionalmente, a preparação de churrasco é realizada utilizando-se uma churrasqueira e espeto. As churrasqueiras podem ser fixas ou móveis e, nesse último caso, podem ser transportadas e instaladas em diferentes locais, por exemplo, em acampamentos. Os modelos volantes convencionais são volumosos e podem trazer dificuldades no transporte. Este trabalho descreve o processo de desenvolvimento do projeto de um espeto de assar carne sem o recurso da churrasqueira, mas ainda assim capaz de girar a carne assada e se manter sustentado sobre uma pequena fogueira. Para tanto, propriedades do espeto rotatório autossuficiente foram listadas tendo por base o que seria desejado por um potencial cliente, bem como, as características de engenharia para tentar satisfazer essas propriedades. O *layout* foi feito em CAD e os esforços das peças e conjuntos foram avaliados a fim de encontrar os requisitos necessários para posterior escolha dos materiais. Realizou-se várias simulações do espeto, com o software *SolidWorks*, a fim de obter qual seria a deformação máxima da ponta com carga máxima e, desses resultados, se dimensionou o diâmetro do espeto. Também foi estimada a flambagem máxima da haste com carga máxima nas lanças e, desses resultados dimensionou-se o diâmetro da haste. O projeto do espeto rotatório autossuficiente foi um bom desafio de reengenharia onde se conseguiu uma significativa melhoria incremental com a modificação do design que resultou em maior segurança dos usuários durante o transporte.

Palavras-chave: Projeto, Simulação, Reengenharia, Melhoria incremental.

PROJECT: SPIT ROTARY SELF-SUFFICIENT

Abstract

Traditionally, the barbecue preparation is carried out using a barbecue grill and skewer. Barbecues can be fixed or mobile and, in the latter case, can be transported and installed in different locations, for example in camps. Conventional flying models are bulky and can be difficult to transport. This work describes the development process of the design of a skewer of roasting meat without the barbecue feature, but still able to rotate the roast and stay propped up on a small fire. For this purpose, self-sufficient rotating prop properties were listed based on what would be desired by a potential customer, as well as the engineering characteristics to try to satisfy these properties. The layout was done in CAD and the efforts of the parts and assemblies were evaluated, in order to find the necessary requirements for further choice of materials. Several simulations were carried out with the *SolidWorks* software in order to obtain the maximum deformation of the tip with maximum load and, from these results, the diameter of the skewer was determined. It was also estimated the maximum buckling of the rod with maximum load on the booms and, from these

results, the rod diameter was dimensioned. The self-sufficient rotating spit design was a good reengineering challenge where a significant incremental improvement was achieved with the design modification that resulted in increased user safety during transportation.

Key words: Design, Simulation, Reengineering, Incremental improvement.

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho descreve o processo de desenvolvimento do projeto de um espeto de assar carne (Figura 1) sem o recurso da churrasqueira, mas ainda assim capaz de girar a carne assada e se manter sustentado sobre uma pequena fogueira, pois tradicionalmente, a preparação de churrasco é realizada utilizando-se uma churrasqueira e espeto. As churrasqueiras podem ser fixas ou móveis e, nesse último caso, podem ser transportadas e instaladas em diferentes locais, por exemplo, em acampamentos. Os modelos volantes convencionais são volumosos e podem trazer dificuldades no transporte. É um produto indisponível no mercado e que foi desenvolvido em outra época, sendo interessante detalhar seu projeto para no futuro viabilizar novamente sua fabricação.



Figura 1: Conjunto completo.

O produto é composto de dois conjuntos distintos de peças, a haste de sustentação e o espeto. A haste de sustentação deve ser cravada no solo e servirá de sustentação para o espeto. Este será acoplado à haste por dois suportes em formato de gancho, um esquerdo e um direito, formando um sistema de alavanca que limita a rotação do espeto no eixo transversal na direção do solo e que impede o escorregamento pelo atrito presente entre os componentes. O conjunto do espeto possui ainda um sistema de eixo mancal que permite a rotação do espeto no eixo longitudinal e que pode ser bloqueado pela ação de um pino rosqueado em seu corpo.

A Figura 2 mostra o detalhe do espeto rotatório autossuficiente em posição de uso, onde o espeto está acoplado à haste. A Figura 3 mostra o espeto rotatório autossuficiente em posição de transporte, onde a haste está no interior do espeto.

Três etapas foram realizadas para o desenvolvimento do projeto, Conceitual, Corporificação e Detalhamento⁽¹⁾ e estão explicitadas no capítulo 2.



Figura 2: Posição de uso, espeto acoplado à haste.



Figura 3: Posição de transporte, haste embutida no espeto.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Na etapa conceitual, as propriedades do espeto rotatório autossuficiente foram listadas a partir da percepção sobre o que um potencial cliente desejaria e um diagrama de Mudge⁽²⁾ foi construído para identificar a ordem de priorização.

Na etapa corporificação, o produto em estudo foi medido e os desenhos das peças foram elaborados em software *SolidWorks*. Os esforços aos quais as peças estão submetidas foram dimensionados levando-se em consideração os princípios de funcionamento, as funções e sub-funções do conjunto, bem como, o *layout* do produto.

Na etapa de detalhamento, a concepção do produto foi revisada na busca de melhorias e com base nas propriedades dimensionadas a metodologia de Ashby⁽¹⁾ para seleção de materiais foi aplicada para indicar materiais capazes de atender as especificações.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir, se lista as características de engenharia para tentar satisfazer as propriedades desejadas.

Higiene: (1) fácil limpeza: não apresentar cantos vivos, fendas e orifícios; (2) não oxide (matérias inertes) e (3) atóxico: materiais atóxicos.

Resistência: (1) resistir ao esforço: suportar a carga sem deformar plasticamente; (2)-resistente à elevada temperatura: cabos isolantes térmicos (materiais sólidos na temperatura de uso) e (3) resistente ao sal: resistente ao ataque de agente químico de uso.

Durabilidade: (1) não apresente desgaste prematuro (selecionar materiais apropriados a resistir ao desgaste por atrito rotacional) e (2) expectativa de vida do produto: superior a 5 anos.

Praticidade: (1) compacto (dimensões reduzidas); (2) fácil utilização (intuitivo de montar e usar); (3) leveza (massa 0,5 kg) e (4) ergonômico (cabos e borboleta de boa acomodação).

Custo moderado: (1) materiais com custo benefício equilibrado; (2) processo de produção eficiente; (3) otimização do projeto e (4) ambientalmente aceitável: composto de materiais reaproveitáveis ou degradáveis.

Eficiente: (1) atende satisfatoriamente ao que se propõe (suporta assar 5 kg de carne em uma fogueira).

Seguro: (1) minimizar risco de perfurações e (2) minimizar riscos de queimadura.

Layout: (1) elegante.

3.1 Diagrama de Mudge⁽²⁾

Utilizando as propriedades listadas anteriormente, renomeou-se com a ordem, na Tabela 1, a fim de elaborar um diagrama de Mudge, cujo objetivo foi de estabelecer uma sequência de prioridades.

Tabela 1: Relação ordem propriedade.

Ordem	Propriedades
A	Higiene
B	Resistência
C	Durabilidade
D	Praticidade
E	Custo Moderado
F	Eficiência
G	Seguro
H	Layout

Para realizar o diagrama de Mudge foi estabelecida uma relação entre a relevância e o peso atribuído na comparação de cada uma das propriedades, representado na Tabela 2.

Tabela 2: Relação relevância peso.

Relevância	Peso
Muito mais importante	5
Mais importante	3
Levemente mais importante	1

No diagrama de Mudge, Tabela 3, realizou-se a comparação entre duas propriedades, priorizando uma em relação à outra e ainda colocando o peso da prioridade. Em seguida, somaram-se os pesos e calculou-se o percentual de prioridade daquela propriedade em relação às demais.

Tabela 3: Diagrama de Mudge.

	B	C	D	E	F	G	H	Soma	%
A	B3	C3	A1	E3	F1	G1	A3	4	7,1
	B	B1	B1	E1	B1	G1	B3	9	16,1
		C	C1	E1	F1	G1	C3	7	12,5
			D	E1	F3	G3	D1	1	1,8
				E	E1	G1	E5	12	21,4
					F	G1	F5	10	17,9
						G	G5	13	23,2
							H	0	0
							Total	56	100,0

O resultado final da prioridade das propriedades esta na Tabela 4.

Tabela 4: Relação prioridade propriedade.

Prioridade	Propriedades
1	Seguro
2	Custo Moderado
3	Eficiência
4	Resistência
5	Durabilidade
6	Higiene
7	Praticidade
8	Layout

Constata-se, na Figura 4, que a propriedade seguro/segurança deve ser priorizada em primeiro lugar e em segundo lugar o custo moderado.

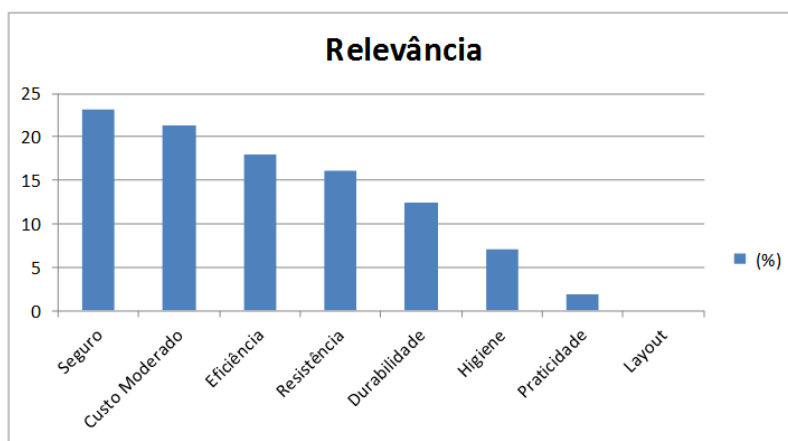


Figura 4: Relevância das propriedades.

A Figura 5 representa o desenho do layout inicial do espeto rotatório autossuficiente.

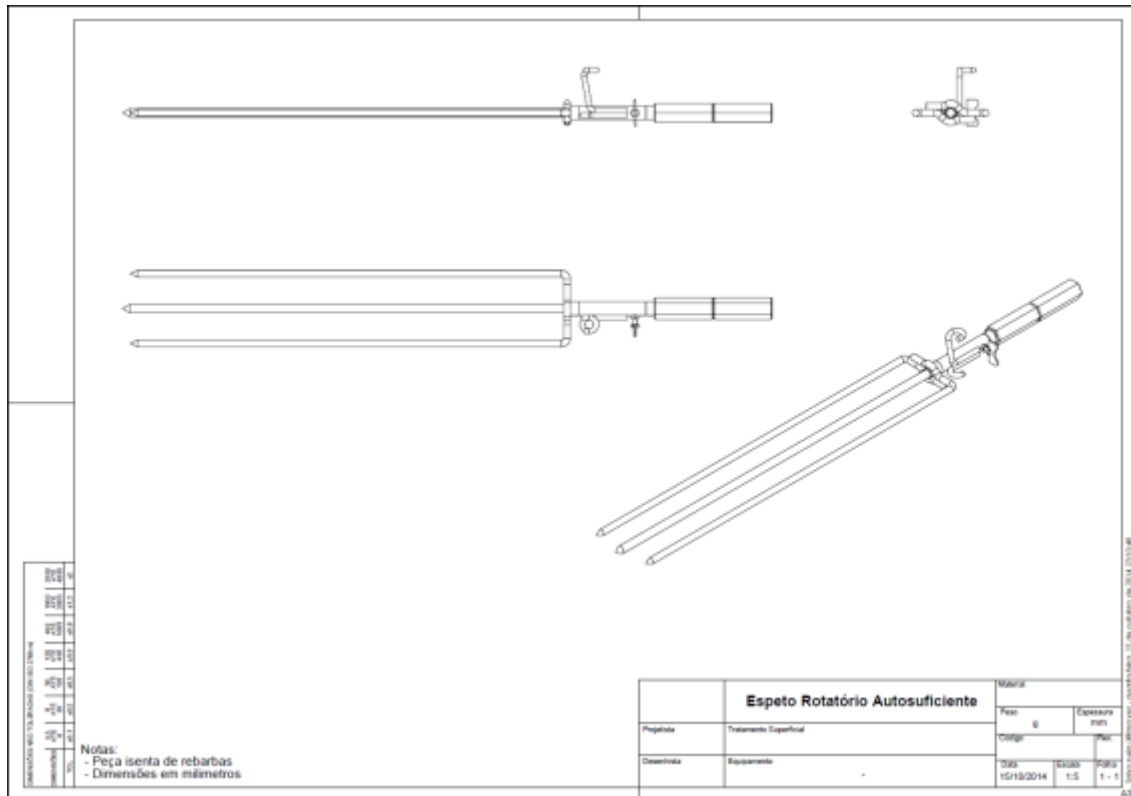


Figura 5: Layout inicial de transporte.

3.2 Etapa Corporificação

Nesta etapa procurou-se desenhar, dimensionar e avaliar os esforços, das peças e conjuntos, a fim de encontrar os requisitos necessários para posterior escolha dos materiais.

Viga engastada com distribuição uniforme de carga⁽³⁾: para determinar qual deveria ser o material para fabricar a lança do espeto, usou-se uma analogia com uma viga engastada com distribuição uniforme de carga.

Carga distribuída: admitiu-se que o peso sustentado por uma lança é 25 N, pois o projeto deve suportar 5 kg, que equivale a aproximadamente 50 N em duas lanças. O comprimento útil da lança é de 82 cm.

P – Peso (N).

L – comprimento (m).

W – carga (N/m).

$$W = \frac{P}{L} = \frac{25}{0,82} = 30,49 \frac{N}{m}$$

Portanto a carga distribuída nas lanças é de aproximadamente 30,5 N/m.

Momento de Inércia⁽³⁾: sabendo a equação do momento de inércia para uma secção circular e admitindo que o raio da lança é um quarto de polegada.

R – raio (m).

I – momento de inércia (m⁴).

$$I = \frac{\pi \cdot R^4}{4} = \frac{\pi \cdot (0,635 \cdot 10^{-2})^4}{4} = 1,28 \cdot 10^{-9} m^4$$

Obeve-se o momento de inércia de aproximadamente $1,3 \cdot 10^{-9} \text{ m}^4$.

Módulo de Elasticidade⁽³⁾: admitindo-se que uma deformação máxima de 1 cm e utilizando os valores da carga distribuída e do momento de inércia, anteriores.

E – módulo de elasticidade (N/m^2).

I – momento de inércia (m^4).

W – carga distribuída (N/m).

L – comprimento (m).

$Y_{\text{máx}}$ – flecha máxima (m).

$$Y_{\text{máx}} = -\frac{W \cdot L^4}{8 \cdot E \cdot I} \rightarrow E = -\frac{W \cdot L^4}{8 \cdot I \cdot Y_{\text{máx}}} = -\frac{30,49 \cdot 0,82^4}{8 \cdot 1,28 \cdot 10^{-9} \cdot (-1 \cdot 10^{-2})} = 1,35 \cdot 10^{11} \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Obeve-se o módulo de elasticidade de aproximadamente $1,35 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$ ou 135 GPa. Este resultado do módulo de elasticidade é compatível com o aço inoxidável, que além de possuir a resistência mecânica estimada, ainda tem como qualidade desejada o aspecto de ser atóxico⁽⁴⁾.

A Figura 6 representa uma simulação realizada no software *SolidWorks* a partir das informações anteriores. O resultado da simulação confirma praticamente os resultados obtidos no modelo de viga engastada com distribuição uniforme de carga.

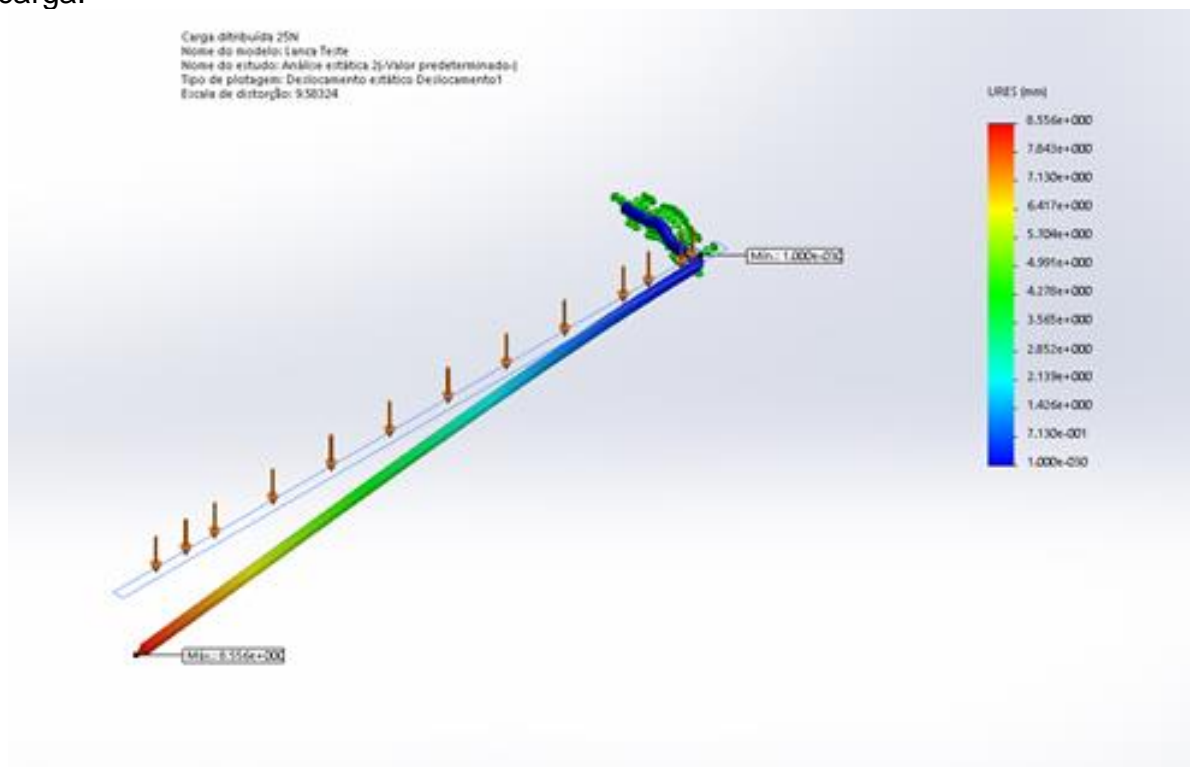


Figura 6: Simulação de carga em *SolidWorks*.

As Figuras 7 e 8 são parte dos desenhos preliminares de todas as peças e conjuntos que compõe o espeto rotatório autossuficiente. A Figura 7 apresenta o desenho dos suportes e parafuso soldados ao mancal. A Figura 8 mostra a montagem do conjunto do espeto.

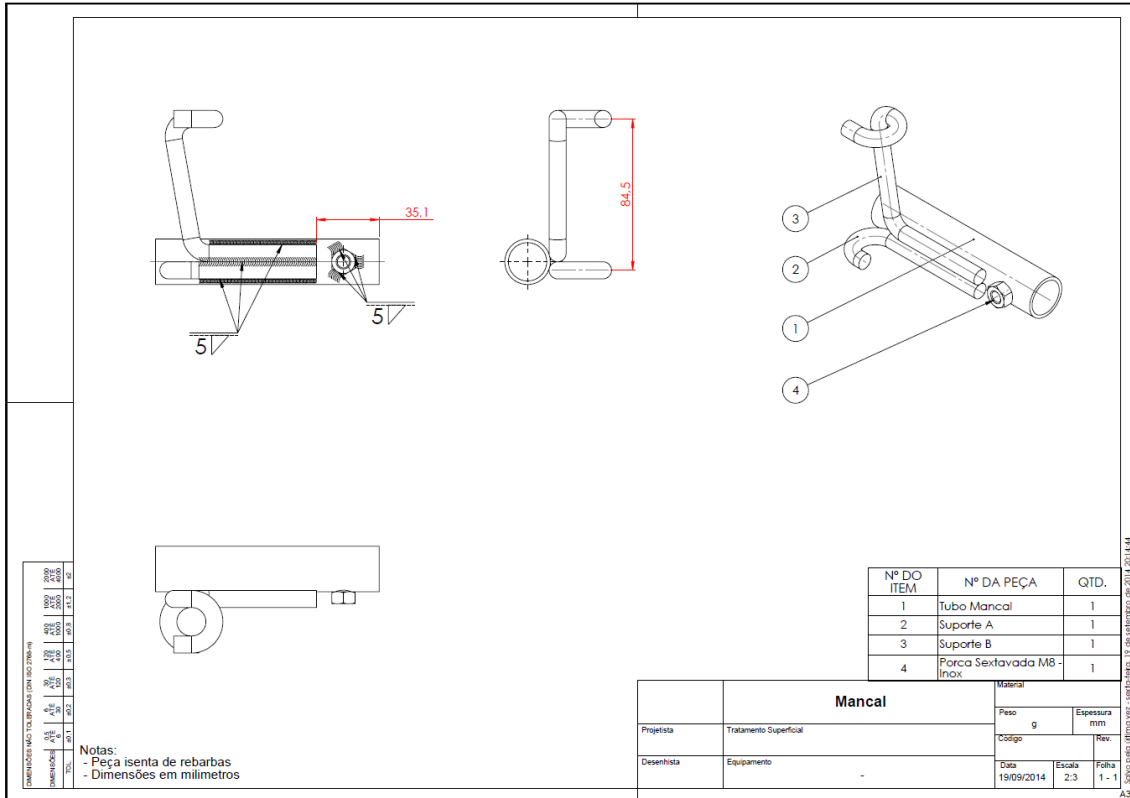


Figura 7: Suportes do espeto.

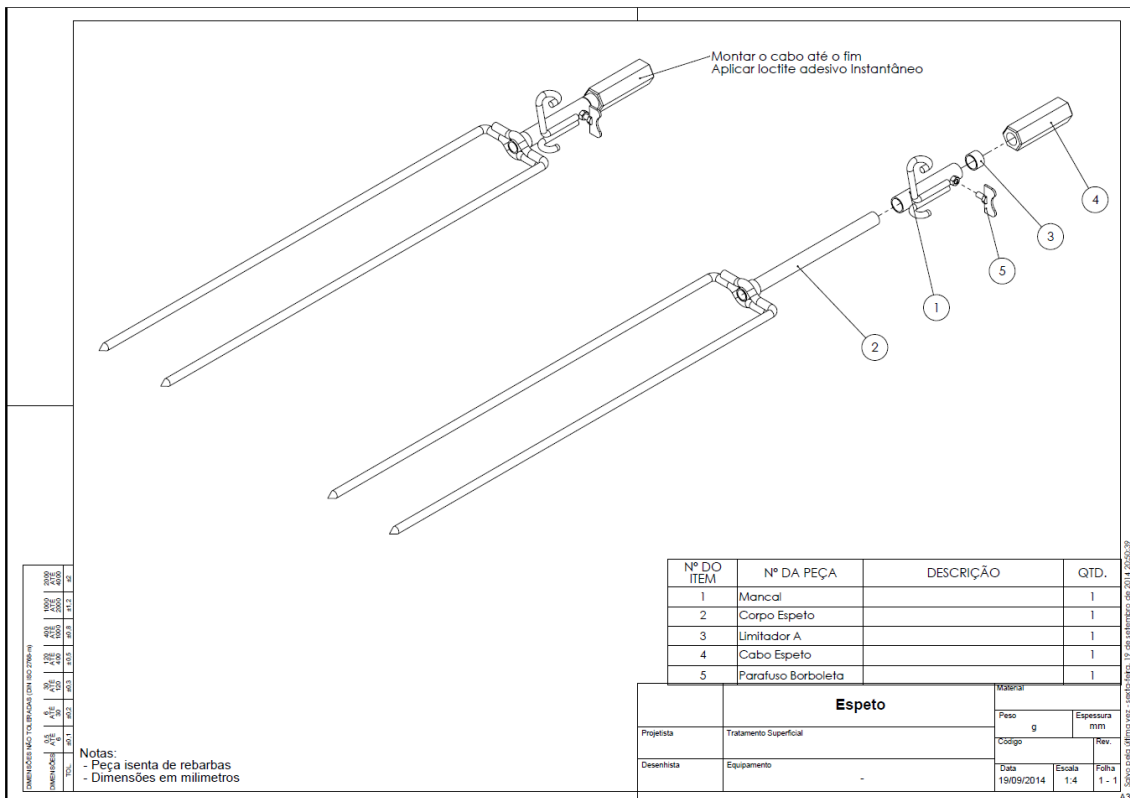


Figura 8: Conjunto do espeto.

3.3 Reelaboração do projeto

Para melhorar a segurança no transporte do espeto rotatório autossuficiente foi realizada uma alteração radical no projeto e o acréscimo de uma nova peça. Esta alteração visa qualificar o produto de acordo com a principal prioridade obtida no diagrama de Mudge que foi ter um produto seguro (segurança). Acrescentou-se uma capa de proteção na haste para proteger o usuário da ponta do espeto e da haste, e inverteu-se a forma de fixar a haste ao espeto para o transporte.

As Figuras 9 e 10 mostram os desenhos de reelaboração do projeto com a nova capa de proteção para segurança e nova instalação para transporte. A Figura 9 mostra o desenho do espeto rotatório autossuficiente em posição de uso. A Figura 10 apresenta o desenho do espeto rotatório autossuficiente na nova posição de transporte, onde as pontas dos espetos e da haste são tampadas.

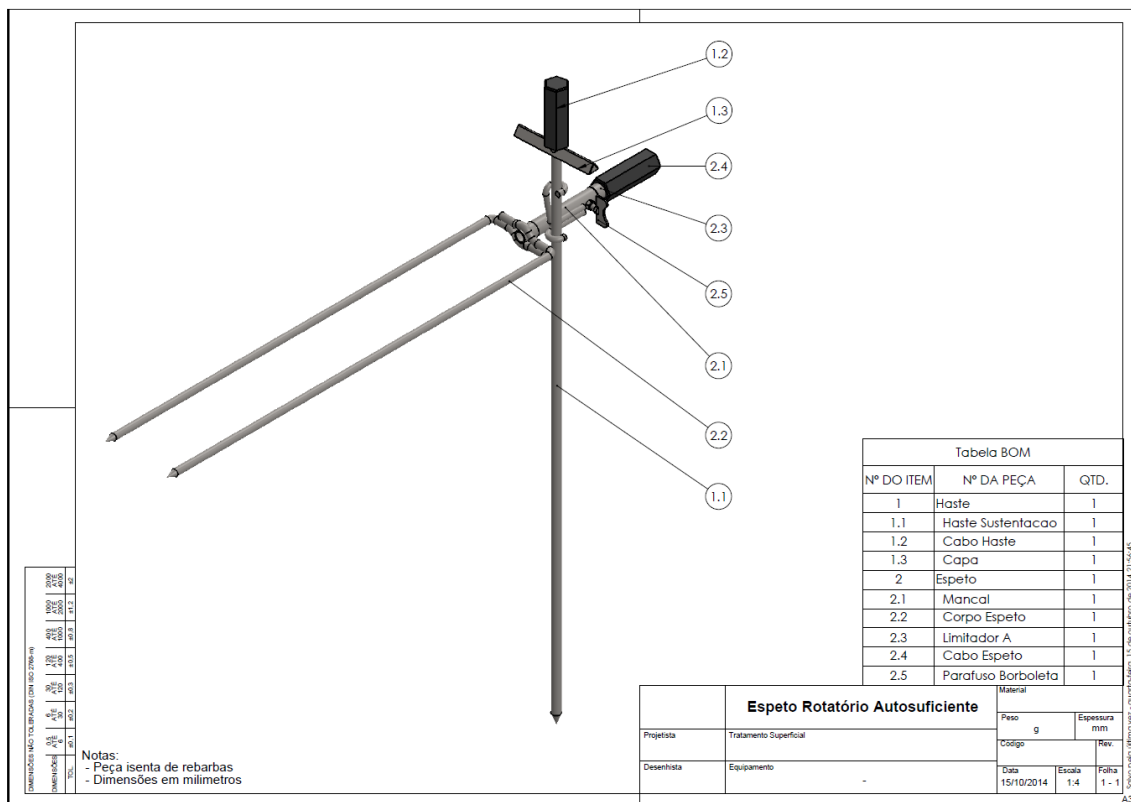


Figura 9: Haste com proteção em posição de uso.

3.4 Melhoria e revisão do projeto

Neste aperfeiçoamento foi modificada a capa de proteção, para evitar que as lanças pudessem ter movimento lateral durante o transporte, e os cabos foram modificados para serem mais ergonômicos, com secção circular no lugar de hexagonal.

As Figuras 11 e 12 mostram os desenhos do aperfeiçoamento da reelaboração do projeto com a nova capa de proteção para segurança para transporte e novos cabos. A Figura 11 exibe o desenho da haste com a nova capa de proteção. A Figura 12 mostra o desenho do espeto rotatório autossuficiente em posição de transporte.

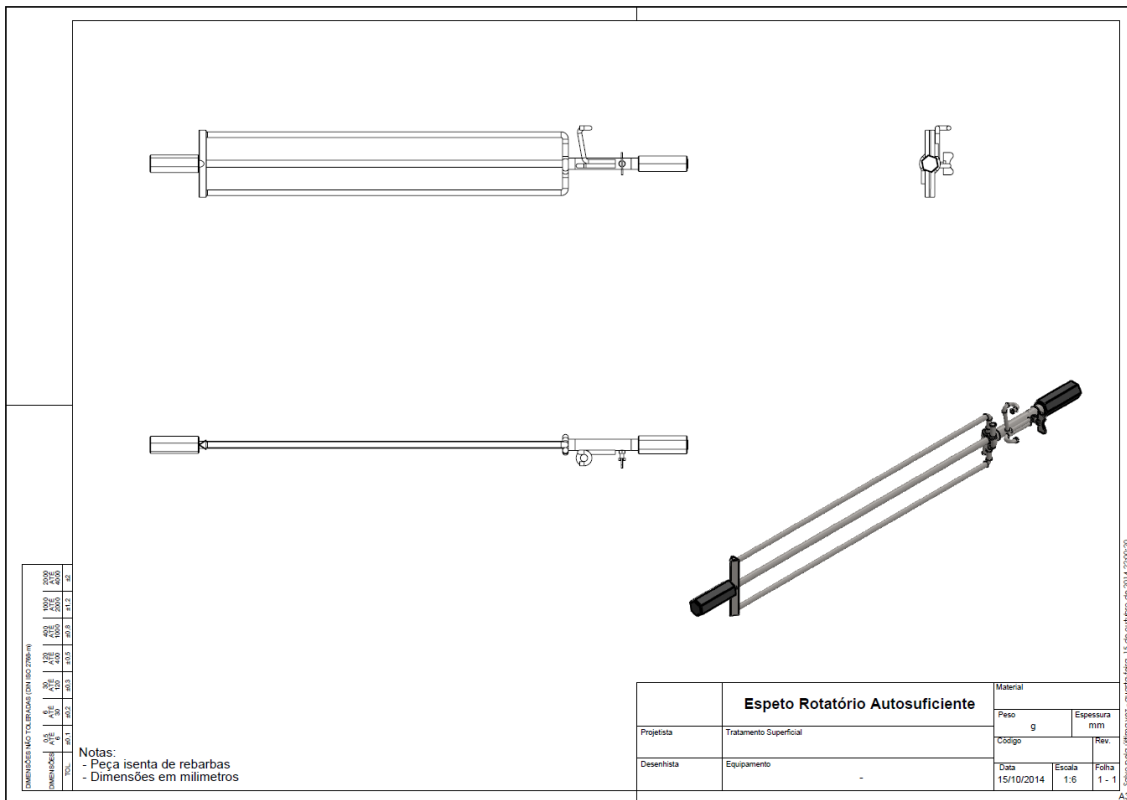


Figura 10: Nova posição de transporte com as pontas protegidas.

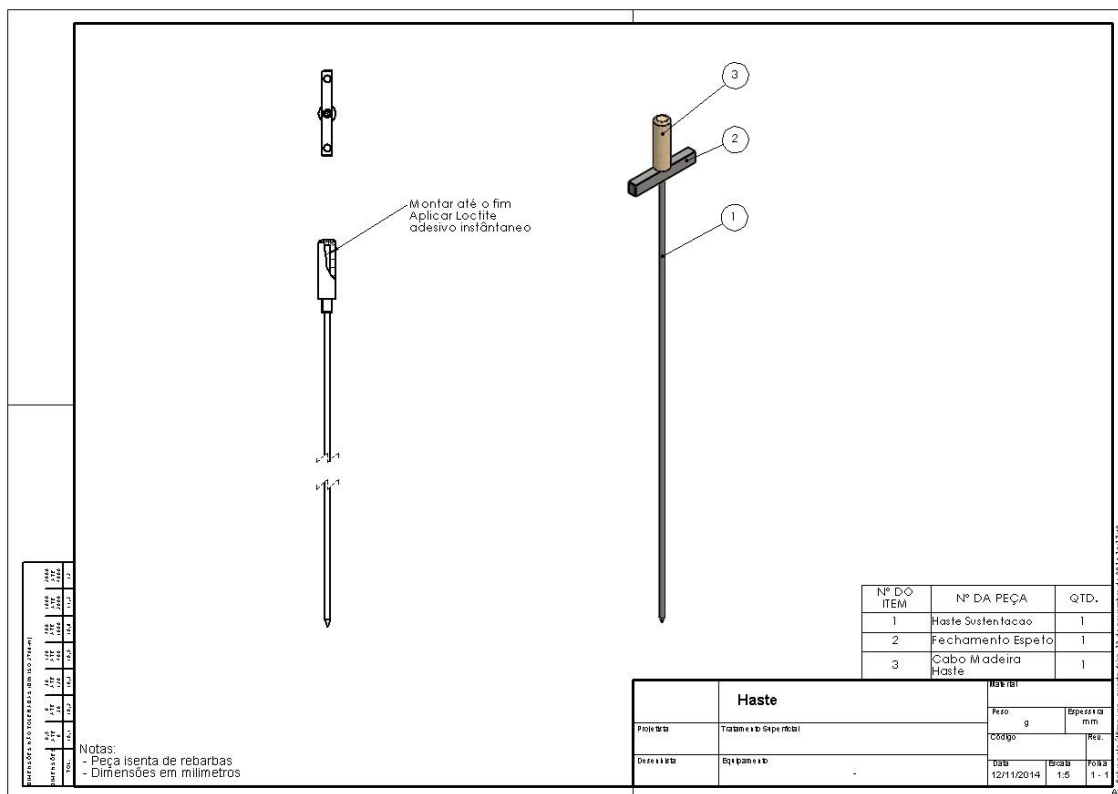


Figura 11: Haste com os novos: cabo de seção circular e capa de proteção.

apenas de matéria prima, além disso, a massa também seria exagera, em torno de 5 kg.

Resolveu-se para tornar o projeto minimamente competitivo no mercado, substituir o aço inoxidável por aço carbono AISI 1020, que é fácil de adquirir, tem custo bem mais acessível, menor impacto ambiental no processo de fabricação e pode ser reutilizado, mas teve-se que abrir mão de uma propriedade importante do projeto, pois este material sofre corrosão.

Avaliou-se a possibilidade de substituir o aço inoxidável por alumínio, porém a resistência mecânica é bem menor, o que faria aumentar o volume para compensar, além de o custo ser quase equivalente e também ser um material com potencial tóxico em contato com alimentos.

Realizou-se várias simulações da lança, com o software *SolidWorks*, a fim de obter qual seria a deformação máxima da ponta das lança com carga máxima, desses resultados se dimensionou o diâmetro da lança. Também realizando simulações da haste, determinou-se a flambagem máxima da haste com carga máxima nas lanças, desses resultados dimensionou-se o diâmetro da haste.

A Figura 13 mostra a simulação de deformação da lança de aço inoxidável AISI 304 com diâmetro de 6,35 mm.

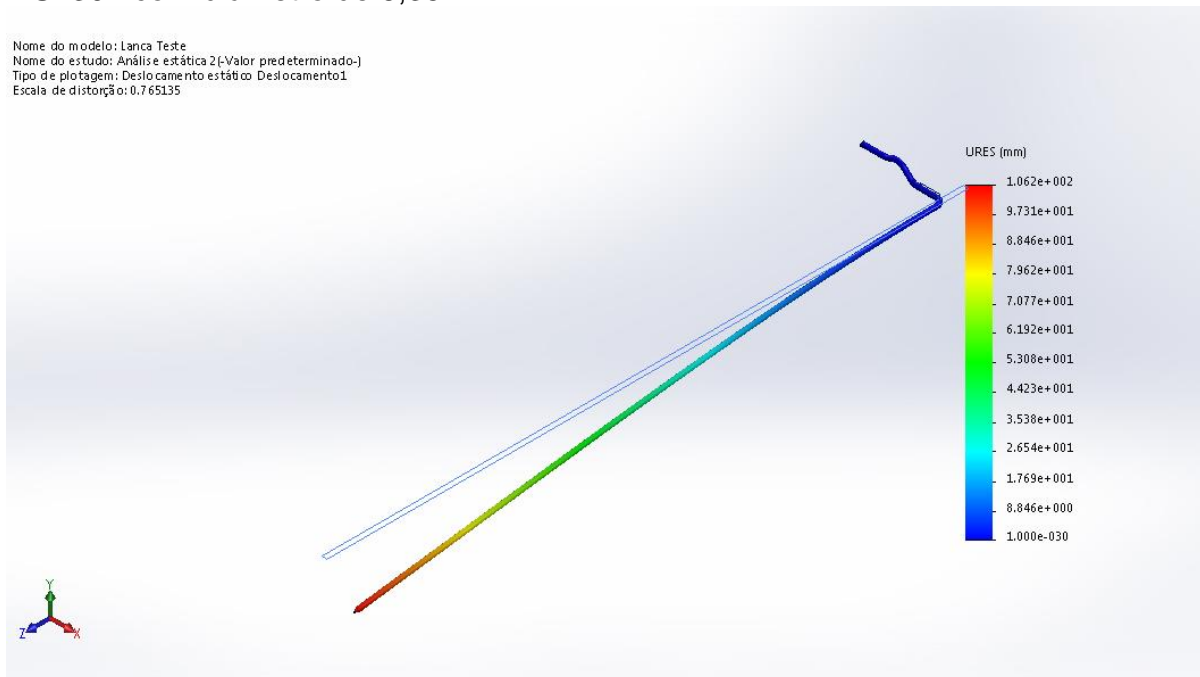


Figura 13: Simulação de deformação de aço inoxidável AISI 304 em SolidWorks.

A Figura 14 mostra a simulação de deformação da lança de aço carbono AISI 1020 com diâmetro de 6,35 mm.

Nome do modelo: Lanca Teste
Nome do estudo: Análise estática 2 (-Valor predeterminado-)
Tipo de plotagem: Deslocamento estático Deslocamento1
Escala de distorção: 0,755862

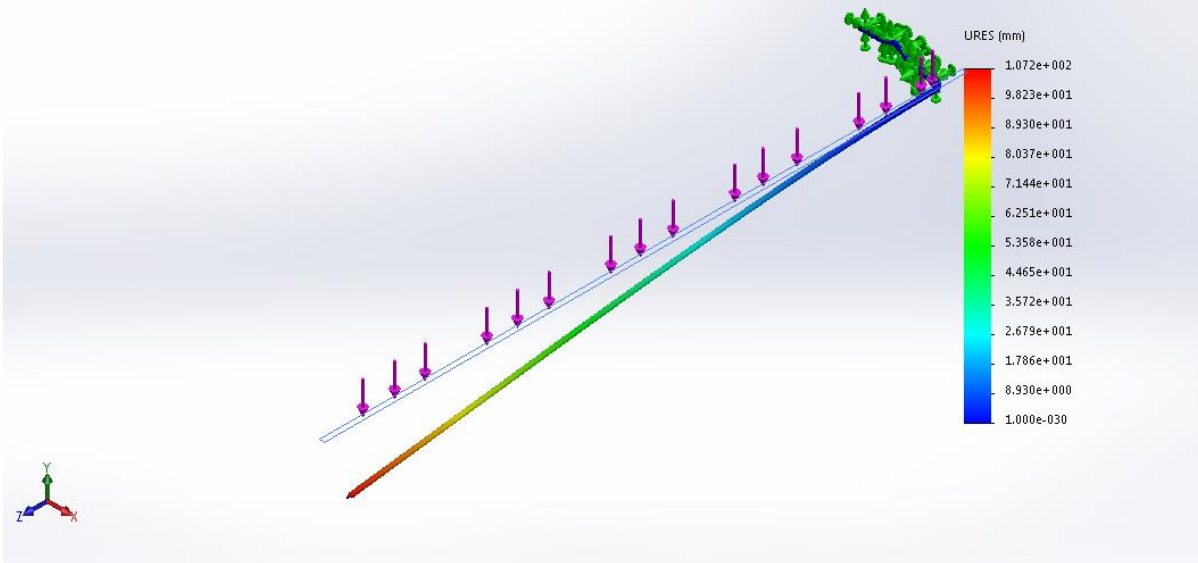


Figura 14: Simulação de deformação de aço carbono AISI 1020 em *SolidWorks*.

A Figura 15 mostra a simulação de flambagem da lança de aço carbono AISI 1020 com diâmetro de 9,52 mm.

Nome do modelo: Haste Sustentacao
Nome do estudo: Análise estática 1(-Valor predeterminado-)
Tipo de plotagem: Deslocamento e estático Deslocamento1
Escala de distorção: 3,28083

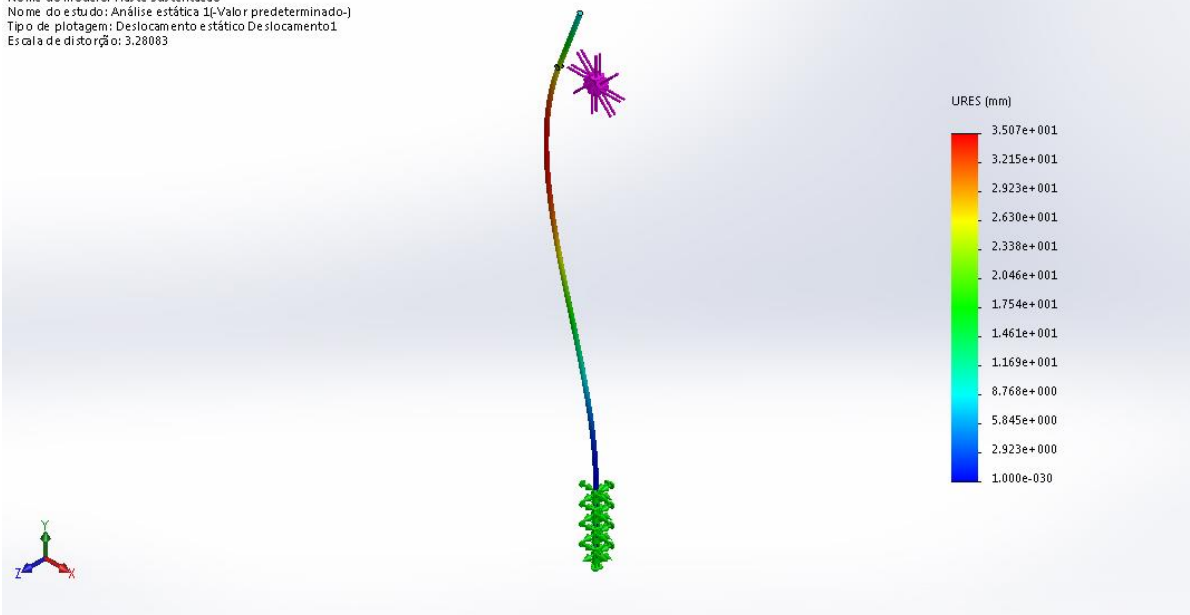


Figura 15: Simulação de deformação de flambagem de aço carbono AISI 1020 em *SolidWorks*.

Foi escolhido o aço carbono AISI 1020 para as partes metálicas e determinados os diâmetros das lanças e da haste. Calculou-se novamente o volume, a massa e o valor da matéria prima, resultando em uma massa de aproximadamente metade do anterior e custo de um quinto do anterior.

Para escolha do material dos cabos do espeto e da haste, o pré-requisito prioritário foi ser um bom isolante térmico e ter um custo menor possível. O primeiro material analisado foi um cabo de polímero, mas a quantidade de produção não justificaria a fabricação de um molde para injeção, cujo investimento é muito

elevado, além deste material apresentar um impacto ambiental bastante significativo. Uma alternativa seria usar um compósito natural, a madeira, cuja vantagem é ser um bom isolante térmico, de custo moderado, facilmente torneável para se tornar ergonômica e for biodegradável. Portanto optou-se por essa última alternativa.

3.6 Processo de Fabricação:

A proposta de produção do espeto rotatório autossuficiente pressupõe que seja fabricado em pequenas serralherias com equipamentos comuns para estas empresas. Os cabos podem ser fabricados em uma pequena marcenaria usando apenas o torno.

A seguir escrevemos os processos de cada peça espeto rotatório autossuficiente:

(1) Lança: corte, dobra e ponta. (2) Mancal: corte e furo. Suportes: corte e dobra. (3) Borboleta: corte. (4) Conjunto mancal (mancal + suportes + porca M8): solda. (5) Conjunto parafuso (parafuso + borboleta): solda. (6) Tubo eixo: corte e furo. (7) Limitador: corte. (8) Conjunto espeto (2 lanças + tubo eixo + limitador): solda. (9) Haste: corte e ponta. (10) Fechamento: corte, furo e chanfro. (11) Conjunto haste (haste + fechamento): solda. (12) Cabos (terceirizados): torneado e envernizado.

Método de fabricação:

(1) Corte: serra policorte. (2) Dobra: prensa hidráulica. (3) Ponta: esmeril. (4) Furo: furadeira de bancada. (5) Solda: eletrodo revestido. (6) Chanfro: lima manual.

Processo de montagem final:

(1) Peças de aço são soldadas. (2) Revestimento superficial do aço (níquelado, comado ou zincado) será terceirizado. (3) Montagem do conjunto espeto + conjunto mancal. (4) Fixação dos cabos: montagem com interferência e colado.

4 CONCLUSÃO

A realização deste exercício de projeto foi bastante estimulante, particularmente pela ênfase na escolha do material. O projeto do espeto rotatório autossuficiente foi um bom desafio de reengenharia onde se conseguiu uma significativa melhoria incremental com o acréscimo da capa de proteção e a inversão da posição de transporte, de forma que todas as pontas são tampadas, minimizando os riscos de acidentes.

Atenderam-se praticamente quase todas as características desejadas no projeto, mas em função dos custos, teve-se que abandonar a qualidade de não oxidável, ou seja, o metal finalmente escolhido sofre corrosão, e aceitar que o produto tem uma massa moderada, apesar de minimizar ao máximo o volume e conseqüentemente a massa. Isto deve ser intrínseco a qualquer projeto que se propõe ao mercado competitivo atual.

Aperfeiçoamentos que ainda podem ser realizados são: (1) estudo detalhado do projeto de negócio para produção deste produto; (2) poderiam ser fabricados espetos rotatórios autossuficientes com níveis diferentes de qualidade e preço, por exemplo: lanças de aço inoxidável ou de alumínio; (3) poderia ser acrescentado ao cabo um motor elétrico com pilha que girasse constantemente o espeto e (4) o revestimento da lança ainda precisa ser melhor avaliado.

REFERÊNCIAS

- 1 ASHBY, M. Seleção de Materiais no Projeto Mecânico. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.
- 2 FORCELLINI ROZENFELD, HENRIQUE. Gestão de Desenvolvimento de Produtos. Editora: Saraiva.
- 3 BEER, F. P.; RUSSEL JOHNSTON JR, E. – Resistência dos Materiais, Ed. Makron Books, São Paulo, 1995.
- 4 CALLISTER, W. D. Jr. Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução, 5ª Ed., Rio de Janeiro: LTC Editora S.A., 2002.

PROJETO DE MAPA TÁTIL DO IFSUL– SAPUCAIA DO SUL PARA ACESSIBILIDADE DE DEFICIENTES VISUAIS

Raupp, Daniela O.¹

Calcagno, Carmen I. W.²

¹ *Graduanda em Engenharia Mecânica, Daniela Oliveira Raupp, Instituto Federal Sul Rio-Grandense – Campus Sapucaia do Sul, drengmec@gmail.com*

² *Doutora, Carmen Iara Walter Calcagno, Instituto Federal Sul Rio-Grandense – Campus Sapucaia do Sul, carmencalcagno@sapucaia.ifsul.edu.br*

Resumo

No Brasil, existem leis e decretos que regulamentam a promoção da acessibilidade das pessoas com deficiência. Mesmo sendo uma exigência a ser cumprida pelas edificações de acesso público, nestes locais, ainda há uma carência de disponibilização de ferramentas que auxiliem a mobilidade de portadores de deficiências visuais. A proposta desse trabalho tem a finalidade de melhorar a acessibilidade dos portadores de deficiência visual em espaços públicos, para isto, será projetado um mapa tátil do campus IFSul – Sapucaia do Sul. Para o desenvolvimento do projeto serão coletados dados da planta baixa do campus, bem como, serão definidos os requisitos e especificações de mapas táteis a partir de pesquisa bibliográfica. O projeto do mapa tátil será elaborado em Solidworks. Ao final da sua criação, espera-se disponibilizá-lo para que ele possa ser executado.

Palavras-chave: Mapa tátil; acessibilidade; deficiência visual.

PROJECT OF THE TACTILE MAP IFSUL-SAPUCAIA DO SUL FOR ACCESSIBILITY OF VISUAL IMPAIRMENT

Abstract

In Brazil, there are laws that regulate the promotion of the accessibility of people with disabilities. Even though a requirement on the public buildings, in this places, still exist lack of mobility of people with visual impairment. The proposal of this study is improve the accessibility of people with visual impairment in a public spaces, for this, will be developed a tactile map of IFSul Campus - Sapucaia do Sul. For the developement of this project, will be collect the campus plant data, as well as, will be definied specifications and legal requiriments there need have in a tactile maps, from the bibliographic searching. The Project was be elaborated at SolidWorks Software. In the end of the elaboration, is expected to make it available to be executed.

Key words: Tactile map; accessibility; visual impairment.

1 INTRODUÇÃO

A partir de 02 de dezembro de 2004 entrou em vigor o decreto N° 5.296 ⁽¹⁾ que regulamenta as leis 10.048/2000 ⁽²⁾ e 10.098/2000 ⁽³⁾, previstas na constituição brasileira, que tratam respectivamente da prioridade de atendimento, e da promoção

da acessibilidade das pessoas portadoras de deficiência. Neste decreto, ficaram sujeitos ao cumprimento de suas disposições, os projetos arquitetônicos e urbanísticos, tendo como referências básicas as normas técnicas de acessibilidade da ABNT, ⁽¹⁾.

A normalização utilizada para padronizar a acessibilidade em edificações é a ABNT NBR 9050 ⁽⁴⁾, que especifica os critérios a serem seguidos nos projetos de construção e adaptação, quanto às condições de acessibilidade das obras, tais como aeroportos, escolas, rodoviárias, assim como, ao mobiliário, espaços e equipamentos urbanos.

Mesmo que, previsto em lei, ainda há uma carência, em ambientes públicos, de sinalização e de disponibilização de ferramentas para auxílio de pessoas com deficiências visuais. Por este motivo, eles se tornam dependentes dos préstimos de terceiros. Visando favorecer sua locomoção e autonomia, este projeto tem a finalidade de buscar o desenvolvimento de um produto que melhore a acessibilidade de deficientes visuais em espaços públicos.

A deficiência visual é definida como a perda total ou parcial da visão, podendo ter diferentes graus e ser classificada como congênita, quando a pessoa já nasce com ela, ou classificada como adquirida, quando em algum momento da vida o indivíduo a adquire ⁽⁵⁾. O nível de acuidade visual determina dois grupos de deficiência, a cegueira e a baixa visão ou visão subnormal, consecutivamente conceituados como, a perda total da visão ou pouquíssima capacidade de enxergar, e o segundo grupo caracteriza-se pelo comprometimento do funcionamento visual dos olhos, mesmo após receber tratamento.

O objeto de estudo escolhido por este trabalho foi o mapa tátil. Ele é uma ferramenta utilizada pelas pessoas com deficiência visual, para auxiliá-las em seu deslocamento e tomada de decisão sobre o trajeto a ser percorrido para chegar ao seu destino. Possuem características generalizadas sobre uma planta arquitetônica, podendo ser omitidos contornos reais que dificultariam a compreensão da leitura tátil da pessoa com deficiência. Em sua elaboração emprega-se o uso de elementos simbólicos, em alto relevo, tais como, pontos, linhas e superfícies ⁽⁶⁾.

Busca-se com este projeto elaborar um instrumento de inclusão social, que colabore com a independência e autonomia dos portadores de deficiência visual, em prol do seu bem-estar social, contribuindo desta forma no desenvolvimento de uma postura mais humana por parte da sociedade.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para definir o processo de elaboração do mapa tátil, bem como, definir os elementos de informações que o compõe, foi realizado uma pesquisa bibliográfica com as palavras-chave: “Normalização mapa tátil” e “Símbolos táteis”. Os trabalhos selecionados foram analisados na fundamentação teórica e na metodologia quanto aos meios utilizados para adequar dimensionamentos e, também, quanto às estratégias utilizadas para a transformação de plantas arquitetônicas na idealização de mapas táteis. Nesta busca, também foram avaliados tópicos que foram utilizados pelos autores, como elementos de informações nos mapas desenvolvidos por eles.

Para projetar o mapa tátil foi utilizada a planta arquitetônica do campus para transformação em esboço com características táteis utilizando os elementos e especificações definidas na etapa anterior. O mapa foi elaborado em Solid Works.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Cartografia tátil

A cartografia possui uma linha específica de confecção de mapas e outros produtos cartográficos que possam ser lidos por pessoas cegas ou com baixa visão, a este ramo é dado o nome de cartografia tátil. No Brasil, as informações sobre este tipo de cartografia são insuficientes, e percebe-se que, a preocupação com a fabricação de mapas táteis ainda é muito recente ⁽⁷⁾. Corroborando com a autora mencionada anteriormente, Araújo ⁽⁸⁾ narra em sua publicação que na cartografia convencional existem técnicas cartográficas bem estabelecidas e definidas, diferentemente dos mapas táteis, onde não existem padronizações universais.

Sendo assim, durante a pesquisa bibliográfica verificou-se que não existem padrões ou normas que guiem a confecção de mapas táteis no Brasil, por este motivo, compilou-se informações de diferentes autores com o intuito de elaborar um projeto que seja acessível à leitura tátil.

Para o ensino geográfico, existem três tipologias de mapas táteis: mapas de orientação, de mobilidade e de topologia. Descreve-se como mapas de orientação àqueles que esboçam uma visão geral e superficial de uma determinada área, relaciona-se este modelo na linguagem arquitetônica tátil, com uma escala de representação pequena, além de, não ter o detalhamento como principal foco. Enquanto que, os mapas de mobilidade têm a intenção de auxiliar no deslocamento, a partir de pontos de orientação, que indicam os principais obstáculos de uma edificação. Por fim, os mapas topológicos são aqueles que têm a finalidade de apresentar uma rota específica de circulação, neste caso, a escala é maior e mais rica no detalhamento, ⁽⁹⁾.

Em virtude destes três tipos de mapas mencionados anteriormente, conclui-se que cada mapa é construído com objetivos específicos daquilo que se pretende transmitir. No caso deste trabalho, optou-se por construir um mapa do tipo orientação, que esboçará uma perspectiva geral de todos os prédios construídos dentro do perímetro do terreno do Instituto.

3.2 Desenvolvimento do mapa tátil

No desenvolvimento de um mapa tátil, existe o desafio de transpor as informações para uma área pequena de forma a serem reconhecidas pela percepção tátil sem tornar a área poluída, visto que, este tipo de leitura é mais limitado e fragmentado, comparada a leitura visual ⁽¹⁰⁾.

Com o objetivo de melhorar a legibilidade das informações geográficas, bem como, facilitar a compreensão dos elementos expostos, utiliza-se a generalização cartográfica. Este processo de generalização permite que linhas muito próximas sejam afastadas; que áreas sejam ampliadas; assim como, sejam feitas a simplificação dos contornos existentes na construção de uma edificação ⁽⁶⁾, ⁽¹¹⁾, ⁽¹²⁾. Lopes ⁽¹¹⁾ ainda identifica dois tipos de generalização, a semântica e a geométrica. A generalização semântica está baseada na origem das informações escolhidas, pelo fato de serem julgadas como relevantes na representação no mapa. A generalização geométrica estabelece a manipulação das características gráficas, como a mudança de dimensões ou deslocamento de objetos.

Conforme o processo de generalização semântica as áreas de maior relevância do câmpus foram selecionadas e agrupadas analogamente. Estas áreas estão destacadas na Figura 1, e sucessivamente denominadas como: (A) dois prédios de Laboratórios e (B) três prédios de Salas de aula. O prédio (C) do Auditório será dividido e apresentará a área da Cantina. Os demais prédios serão únicos e representarão as seguintes áreas: (D) Sede social, (E) Sede esportiva, (F) Salas administrativas, (G) Biblioteca e (H) Portaria.



Figura 1: Imagem aérea do IFSul - Sapucaia do Sul. Adaptado de IFSul (2016)

Neste processo de classificação, algumas regiões foram agregadas para proporcionar uma visão menos poluída e reduzir a complexidade da imagem cartográfica, como por exemplo, nos prédios Laboratórios, esta região possui salas de aula, porém, predominam os Laboratórios.

Da mesma forma, o conceito de generalização geométrica ⁽¹¹⁾ foi aplicado, objetivando a simplificação dos detalhamentos e contornos da edificação, que pudessem prejudicar a interpretação dos usuários. Foi o caso de um prédio de Salas de aula e do prédio da Biblioteca, estes possuem formatos arquitetônicos diferenciados, e são chamados de “pétala”. Sua representação foi simplificada ao formato geométrico tipo quadrado, conforme demonstrado na Figura 2, mantendo as proporções em escala.

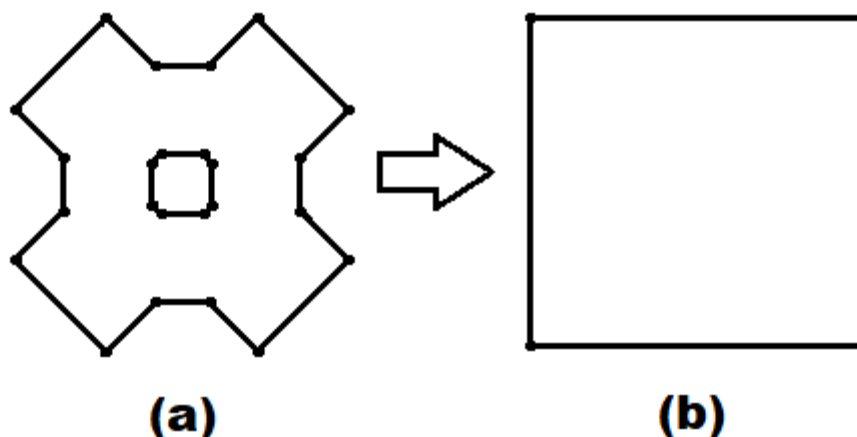


Figura 2: Imagem (a) Forma atual da edificação, tipo pétala; Imagem (b) Forma simplificada da edificação, tipo quadrado.

Bem como, sofreram um processo de ampliação às áreas da Sede social e Portaria. Este tipo de técnica é utilizado para alterar o tamanho dos objetos, de modo a se tornar maior para satisfazer aos requisitos específicos de um mapa ⁽¹¹⁾. Oposto ao processo de ampliação, para a Sede esportiva utilizou-se a técnica de redução das dimensões da sua construção. Tanto a ampliação quanto à redução das áreas citadas anteriormente, teve a intenção de estabelecer uma dimensão padronizada para a fabricação das matrizes que produzirão as texturas destas áreas nos trabalhos que darão seguimento a este projeto futuramente.

Em sua publicação, Bem ⁽⁶⁾ recomenda que as dimensões máximas de um mapa fiquem com as medidas de 420x297mm, ou seja, do tamanho de uma folha A3. Nas medidas sugeridas pelo autor ⁽⁶⁾, a leitura fica restrita ao tamanho de duas mãos abertas. Nogueira ⁽¹³⁾ em seus estudos, igualmente pactuava com a ideia das dimensões para confecção do mapa ser de, no máximo, duas mãos, segundo ela, este é o tamanho adequado para o usuário explorar e decodificar as informações.

Conforme sugerido pelo autor pesquisado ⁽⁶⁾, este mapa foi elaborado com base nas dimensões de 420x297mm ⁽⁶⁾. Sendo assim, para o mapa elaborado a área total corresponderá as seguintes dimensões: 327x167 mm.

3.3 Elementos de Informação em um mapa tátil

3.3.1 Escala

Para a projeção topográfica de uma superfície em um mapa, os detalhes devem ser representados sobre um plano horizontal. Os objetos ou elementos devem ser detalhados, e geralmente suas dimensões não possibilitam a projeção em tamanho real. Tendo assim, a necessidade de reduzir suas proporções, a fim de, tornar possível a sua representação em um espaço limitado, desta forma, utiliza-se a escala. Para entendimento, a escala é definida como a relação entre o tamanho de um objeto ou local representado no papel e sua medida real ⁽¹⁴⁾.

A escala escolhida para este mapa tátil foi de 1:750, esta escala numérica em forma de fração indica quantas vezes foi reduzida a imagem reproduzida no mapa.

Ou seja, significa que, cada 1 cm desenhado no mapa corresponde a 750cm no terreno.

3.3.2 Texturas, Relevo e Símbolos

As texturas são utilizadas para diferenciar superfícies com significados distintos, distinguir os limites de regiões determinadas ou indicar áreas, tais como: estacionamentos, salas, lagoas, etc. Bem como, auxiliam o usuário na identificação do local que ele está lendo. O espaçamento mínimo de 3 mm entre os símbolos deve ser respeitado, visto que, podem ser confundidos se estiverem muito próximos ⁽¹⁵⁾.

Bernardi ⁽¹⁰⁾ defende que o espaçamento mínimo entre os símbolos deve ser de 6mm, visto que, a compreensão das informações pode ser dificultada quando colocados a uma distância menor.

Ferreira e da Silva ⁽¹⁶⁾ compilaram em seu estudo, cinco tipos de texturas; sendo essas as mais usuais no ramo da produção tátil; para a produção de uma matriz tátil, representando as cinco regiões geográficas brasileiras. As texturas utilizadas para representar cada região foram diferenciadas apenas por suas formas.

Salienta-se ainda, sobre o projeto de Ferreira e da Silva ⁽¹⁶⁾ os parâmetros analisados no teste de percepção tátil, realizado por um revisor braille, os quais foram: altura, largura e espaçamento das texturas, com o objetivo de verificar a possibilidade de decodificação por uma pessoa com deficiência visual. O resultado quanto à percepção das texturas foi positivo, não houve dificuldades em diferenciar cada textura, apesar de, segundo ele, o tamanho de 1 mm no quesito altura seria suficiente. Outra melhoria sugerida pelo revisor, que demonstrou ser de grande relevância, diz respeito às delimitações de cada região, ele sugeriu que as mesmas fossem delimitadas por um contorno.

Com base nas texturas utilizadas no projeto de Ferreira e da Silva ⁽¹⁶⁾, para a criação deste mapa foram escolhidas 7 texturas, que representarão as seguintes áreas: Laboratórios, Salas de Aula, Auditório, Sede Social, Sede Esportiva, Salas Administrativas e Biblioteca. Bem como, foram selecionados 3 símbolos, para representar as áreas da Cantina e Portaria, assim como, o símbolo “Eu Estou Aqui”, representado por um “X”, o qual, localiza o usuário ao local onde será instalado o mapa, conforme Figura 3.

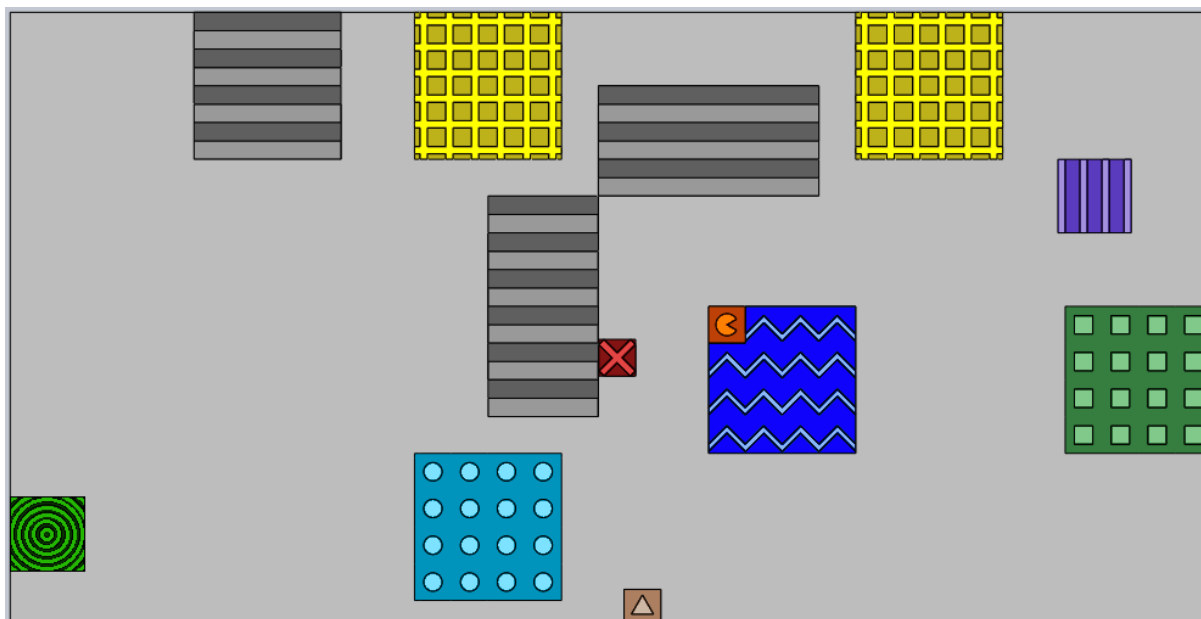












Figura 3: Mapa Tátil do IFSul-Sapucaia do Sul.

Para o desenvolvimento dos relevos, utilizou-se a altura de 1mm, conforme sugerido pelo revisor braile, no estudo de Ferreira e da Silva ⁽¹⁶⁾. Quanto às delimitações de contorno de cada região, não se julgou necessário neste projeto, visto que, na maioria das representações existem espaços entre os prédios do Instituto, que levam a pressupor uma delimitação de espaço. Porém, na situação do prédio do Auditório, que divide o espaço com a Cantina, seria o caso de aplicar um contorno, contudo, não foi possível, por se tratar de uma área muito pequena, deste modo, considerou-se mais apropriado a sua omissão, visto que, o mesmo poderia perturbar a leitura tátil.

Os demais parâmetros utilizados para a elaboração deste mapa, como: espaçamento e largura dos relevos, bem como, a legenda que identifica cada região do câmpus, podem ser visualizadas na Tabela 1.

Tabela 1: Legenda do Mapa, com texturas e dimensões utilizadas.

Textura	Área	Espaçamento (mm)	Altura (mm)	Largura (mm)
	Laboratórios	5	1	2
	Salas de Aula	5	1	5
	Auditório	Entre cristas: 10	1	2
	Cantina	---	1	Raio: 3
	Sede Social	4	1	2
	Sede Esportiva	1	1	1
	Salas Administrativas	5	1	Raio: 2,5
	Biblioteca	5	1	5
	Portaria	---	1	Aresta: 6
	Eu Estou Aqui	---	1	2

3.3.3 Legenda

Bernardi ⁽¹⁰⁾ relata a importância da legenda, ela não identifica apenas as funções de cada ambiente, também traz o significado dos diversos símbolos táteis utilizados. Ainda sobre a legenda, Bem ⁽⁶⁾ comenta que ela aponta os elementos presentes no mapa, tais como, uma lista de símbolos, linhas, pontos, texturas, combinações de letras e números e uma explicação a respeito.

A legenda pode ser exibida em uma parte separada do mapa, e sua formatação deve seguir os seguintes critérios ⁽¹⁵⁾.

a) Os símbolos devem estar dispostos em uma coluna à esquerda. Em outra coluna, do lado oposto de cada símbolo devem estar às descrições em braile. A distância entre as duas colunas deve ser suficiente para que os dedos do usuário consigam percorrer facilmente do símbolo à sua descrição;

b) Legendas formadas por apenas uma coluna de símbolos e uma coluna de significados tendem a ser mais legíveis;

c) Linhas, pontos e símbolos de área são inseridos geralmente em primeiro lugar no mapa. Seu tamanho deve corresponder à mesma escala utilizada no mapa. Para se conseguir a legibilidade, as linhas devem ter no mínimo 13mm, as texturas devem ser representadas em um quadrado com lado mínimo de 13mm;

d) As letras devem ser listadas em ordem alfabética e os números em sequência numérica crescente ⁽¹⁵⁾.

Conforme Tabela 1, pode-se ter uma idealização de como será projetada a legenda deste mapa tátil. Os símbolos encontram-se dispostos na primeira coluna, à esquerda, identificam-se neles as texturas utilizadas no projeto, as quais diferenciam cada região. Ao lado direito dos símbolos, na segunda coluna, encontram-se as descrições das áreas.

3.3.4 Título

Segundo o método desenvolvido pelo Laboratório de Cartografia Tátil e Escolar - LabTATE, da Universidade Federal de Santa Catarina, o posicionamento do título em um mapa tátil fica disposto na parte superior, ao lado dos outros elementos de informações. O texto para leitura do título, para pessoas cegas ou com deficiência visual é representado em forma de Braille ⁽¹²⁾.

Araújo ⁽⁸⁾ comenta em sua publicação, que o Sistema Braille corresponde a uma escrita pontográfica onde há a representação de letras e números por meio de sinais pontuais em relevo, e que, assim como no sistema de escrita convencional, o Braille também possui ortografia.

Apesar de, não ter sido apresentado na Figura 3, o título será posicionado na parte superior do mapa. Ele apresentará a escrita em alto relevo, bem como, em Braille.

4 CONCLUSÃO

Esta pesquisa possibilitou definir o processo de elaboração de um mapa tátil, assim como, foi possível definir os elementos de informações que o constituem. A partir destas definições, tornou-se executável a fase de projeto do mapa tátil cujo detalhamento apresentado nesse trabalho possibilitará a construção do mesmo em etapa posterior.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPQ por conceder bolsa de iniciação científica, e para todo o núcleo profissional do IFSul pelo apoio.

REFERÊNCIAS

- 1 BRASIL. Decreto nº 5.296 de 2 de dezembro de 2004. Regulamenta as Leis nºs 10.048, de 8 de novembro de 2000, que **Dá prioridade de atendimento às pessoas que especifica**, e 10.098, de 19 de dezembro de 2000, que **Estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade das pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida**, e dá outras providências. Presidência da República. Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos, Brasília, DF. 2004. Disponível em:

- <www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/Decreto/D5296.htm>. Acesso em: 20 ago. 2018.
- 2 BRASIL. Lei nº 10.048, de 08 de novembro de 2000. **Dá prioridade de atendimento às pessoas que especifica**, e dá outras providências. Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos, Brasília, DF. 2000. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L10048.htm>. Acesso em: 20 ago. 2018.
 - 3 BRASIL. Lei nº 10.098, de 19 de dezembro de 2000. **Estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade das pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida**, e dá outras providências. Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos, Brasília, DF. 2000. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L10098.htm>. Acesso em: 20 ago. 2018.
 - 4 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9050: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos**. Rio de Janeiro, RJ, 2015.
 - 5 ALMEIDA, T.S.; ARAÚJO F.V. **Diferenças experienciais entre pessoas com cegueira congênita e adquirida: uma breve apreciação**. Revista Interfaces: Saúde, Humanas e Tecnologia. Ano 1, v. 1, n.3, jun, 2013. Faculdade Leão Sampaio. 21 f. Artigo Científico ISSN 2317 – 434X.
 - 6 BEM, G. M. **Parâmetros de fabricação de símbolos para mapas táteis arquitetônicos**. 2016. 204 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2016.
 - 7 LOCH, Ruth E. N. **Cartografia Tátil: mapas para deficientes visuais**. Portal da Cartografia. Londrina, v.1, n.1, maio/ago., p. 35 - 58, 2008. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/portalcartografia/article/view/1362/1087>. Acesso em 24 ago. 2018.
 - 8 ARAÚJO, Niédja S. **Desenvolvimento de símbolos para mapa tátil indoor a partir de impressora 3D**. 2018. 146f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Bahia, Salvador. 2018.
 - 9 SCHNEIDER, 2000 apud BERNARDI, N.; D'ABREU, J. V. V.; KOWALTOWSKI, D. C. C. K. **Orientação espacial no campus da UNICAMP**: diretrizes para o desenvolvimento de um mapa de uso tátil e sonoro como ferramenta de auxílio ao percurso do usuário com deficiência visual. In: ENCONTRO NACIONAL,10; ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6. Natal, 2009. [Anais...]. Natal, 2009. p. 1827-1830.
 - 10 BERNARDI, Núbia. **A aplicação do conceito do desenho universal no ensino de arquitetura: o uso de mapa tátil como leitura de projeto**. 2007. 339 f. Tese (Doutor em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2007.
 - 11 LOPES, José A. T. **Generalização Cartográfica com recurso a inteligência artificial**. 2015. 175f. Tese (Doutorado em Ciências Geofísicas e da Geoinformação) - Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências Departamento de Engenharia Geográfica Geofísica e Energia Portugal.
 - 12 CUSTÓDIO, G. A. & NOGUEIRA, R. E. **O aporte da cartografia tátil no ensino de conceitos cartográficos para alunos com deficiência visual**. Revista Brasileira de Cartografia, Rio de Janeiro, N0 63/4, p. 757-772, Jul/Ago/2014.
 - 13 NOGUEIRA, R. E. **Padronização de mapas táteis: um projeto colaborativo para a inclusão escolar e social**. Ponto de Vista, Florianópolis, n. 9, p. 87-111, 2007.
 - 14 IBGE. **Noções Básicas de Cartografia**. Rio de Janeiro: IBGE, 1999, 130p. (Manuais Técnicos em Geociência, número 8). Disponível em: <biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv8595_v1.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2018.

- 15 EDMAN, 1992 apud BEM, G. M. **Parâmetros de fabricação de símbolos para mapas táteis arquitetônicos.** 2016. 204 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2016.
- 16 FERREIRA, M. E.S., & da SILVA, L. F. C. F. **Construção de matrizes táteis pelo processo de prototipagem rápida.** Revista Brasileira de Cartografia, Rio de Janeiro, N0 64/1, p. 45-55, 2012.

REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE MÁRMORE E GRANITO PARA A PRODUÇÃO DE TIJOLOS CERÂMICOS.

Oliveira, A. M. C. P.¹

Moraes, C. A. M.²

Souza, D. M.³

¹ *Graduanda em Engenharia Civil, Ana Martha Carneiro Pires de Oliveira, Faculdade de Tecnologia e Ciência (FTC Itabuna) anamarthacarneirogarcia@gmail.com*

² *Doutor em Ciências dos Materiais, Carlos Alberto Mendes Moraes, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS) cmoraes@unisinos.br*

³ *Graduada em Engenharia, Ambiental, Débora Machado de Souza, Núcleo de Caracterização de Materiais – NucMat - Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS)*

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

Resumo

A necessidade de cumprir as exigências de manejo de resíduos sólidos gerados nas atividades industriais estão tornando-se um grande desafio para os sistemas produtivos e a reciclagem surge como alternativa para muitos setores. As marmorarias produzem grandes quantidades de resíduos em forma de lama, a partir do processo de recorte, polimento e lustro de peças, confeccionadas a partir das chapas de mármore. Este resíduo causa impacto ambiental pela quantidade produzida e seu descarte é uma dificuldade para as serrarias. Os blocos cerâmicos, ou tijolos, como são popularmente conhecidos, são um dos componentes básicos de qualquer construção de alvenaria, seja ela de vedação ou estrutural. O estudo do reaproveitamento dos resíduos do mármore na confecção de tijolos cerâmicos foi feito pelo fato desse tipo de material não apresentar restrições estéticas quanto à coloração, como ocorre em outros segmentos da cerâmica. Neste estudo, a maior parte das amostras analisadas apresentou vantagens quanto a absorção de água e resistência de ruptura. O manejo e testes deste estudo foi conduzido na região de Itabuna/Bahia para a verificação da possibilidade de utilização de rejeitos/resíduos oriundos do beneficiamento de mármore e granitos como matéria prima na fabricação de tijolos cerâmicos para construção civil. Os resultados dos testes de resistência indicaram que a adição dos resíduos manteve a qualidade dos tijolos e reduziu o custo por diminuir a demanda de outros componentes na execução da massa que compõe o tijolo.

Palavras-chave: Reaproveitamento; Resíduos; Mármore; Tijolos Cerâmicos.

REUTILIZATION OF MARBLE AND GRANITE WASTE IN THE PRODUCTION OF CERAMIC BRICKS.

Abstract

The biggest challenge in many industrial activities, is the need to meet the solid waste management requirements, generated in industrial activities is becoming a major challenge, and recycling is emerging as an alternative for many industries. The marble workshop produces large amounts of mud-like waste from the process of cutting and polishing pieces. This waste causes environmental impact by the quantity

produced and its disposal is a difficulty for workshops. Ceramic blocks, or bricks, as they are popularly known, are one of the basic components of any masonry construction, whether sealing or structural. The study of the reuse of marble residues in the manufacture of ceramic bricks was made due to the fact that this type of material does not present aesthetic restrictions regarding coloration, as occurs in other segments of the ceramic. In this study, most of the analyzed samples had advantages regarding water absorption and rupture strength. The management and testing of this study was conducted in the Itabuna/Bahia region to verify the possibility of using waste/residues from the processing of marble and granite as raw material in the manufacture of ceramic bricks for civil construction. The results of the tests of resistance indicated that the addition of the residues maintained the quality of the bricks and reduced the cost by reducing the demand of other components in the execution of the mass that composes the brick.

Key words: Reuse; Waste; Marble; Ceramic Bricks.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil a extração de rochas ornamentais aumenta expressivamente a fim de atender a demanda da construção civil e exportações, a exploração e processamento deste material geram grandes percentuais de resíduos sob a forma de lama⁽¹⁾. Quando descartadas no ambiente, rejeitos oriundos do corte de mármore/granito geram impactos negativos do ponto de vista ambiental, econômico e social.

Alguns exemplos são a poluição visual, o assoreamento e a desoxigenação de rios, prejudicando a fauna e a flora da região. Também afeta as populações vizinhas das plantas de extração bem com os seus operários, que podem contrair doenças respiratórias, como a silicose. Segundo Cotran et al.⁽²⁾ a silicose é a doença ocupacional mais antiga que se conhece. Ela se desenvolve em pessoas que inalaram pó de sílica durante muitos anos, sendo freqüente a exposição entre os mineiros de metal, cortadores de arenito e de granito, operários de fundições e oleiros. Esta doença tem como causa a inalação das partículas de dióxido cristalino (SiO₂) presentes na poeira das escavações de mineração.

Nos últimos anos houve um significativo aumento da produção de mármore e granitos em todo território brasileiro gerando grande lucro para as empresas ligadas à exploração mineral⁽³⁾. Por outro lado, segundo Formigoni⁽⁴⁾ durante o processo de serragem das pedras brutas, o volume total do pó gerado na confecção de chapas de 30mm é estimado em cerca de 25 a 30% do volume da pedra bruta cortada.

Dentre os resíduos utilizados na construção está o procedente do corte de mármore e granito (RCMG), sendo formado quando os blocos de rocha passam pelos teares a fim de serem desdobrados em chapas, gerando uma lama abrasiva, constituído por pó de rocha, água, cal e granalha, com grande potencial para as matrizes cimentíceas, pois possui elevada estabilidade e resistência a abrasão⁽⁵⁾.

O aumento na demanda por materiais de construção civil vem reduzindo as reservas naturais, provocando a degradação ambiental e o aumento no custo de construção. Dessa forma é muito importante a implantação de uma política que concilie o aproveitamento racional dos recursos naturais e a utilização de novas tecnologias que possam aproveitar os resíduos gerados em processos construtivos e industriais⁽⁶⁾. Nesse contexto, uma alternativa é a utilização dos resíduos

produzidos nos processos de corte de mármore e granitos na produção de materiais necessários à construção civil visto que é o principal responsável pelo consumo desses bens naturais⁽⁷⁾. Finalmente o aproveitamento dos rejeitos/resíduos por meio de estudos que venham a detectar seu potencial e sua viabilidade é visto, no contexto atual, como uma necessidade econômica e ambiental, que objetiva contribuir para a diversificação dos produtos, diminuição dos custos finais, e na sugestão de novas matérias-primas para a construção, como sugere Bispo⁽⁸⁾.

Moreira et al.⁽⁹⁾, afirma que, os resíduos de serragem de rochas ornamentais, aparentemente sem valor industrial, podem ser usados como componente de massas argilosas na fabricação de produtos cerâmicos para uso da construção civil. Os argumentos para embasar tal suposição se devem a alguns aspectos operacionais, tais como a composição química mineralógica do resíduo, a sua natureza não plástica, e por não causar poluição durante a fabricação e uso dos novos produtos cerâmicos.

A construção civil é o ramo da atividade tecnológica que pelo volume de recursos naturais consumidos, parece ser o mais indicado para absorver rejeitos sólidos, como os das rochas graníticas ornamentais. O reaproveitamento de resíduos, de maneira integral ou como coadjuvante em ramos industriais cerâmicos, que englobam em grande parte a construção civil, pode contribuir para diversificar a oferta de matérias-primas para a produção de componentes cerâmicos e reduzir os custos da construção civil, o que é de vital importância, principalmente em um país com elevado déficit habitacional como o Brasil.⁽¹⁰⁾

2 MATERIAL E MÉTODOS

Um dos grandes desafios do século XXI é a eliminação de resíduos industriais provenientes das empresas mineradoras. Pesquisas sobre reciclagem de resíduos vem sendo desenvolvidas em todo o mundo. As razões para estas pesquisas são, em geral, o esgotamento das matérias-primas não renováveis, a redução do consumo de energia, a diminuição de emissões de poluentes, a redução de custos, a melhoria da saúde e da segurança da população⁽¹¹⁾.

O Brasil, grande detentor de reservas de mármore e granitos, necessita definir metas que venham a servir como exemplos para as muitas inovações internacionais. É importante a implantação de uma política que concilie o aproveitamento racional dos recursos naturais e a utilização de novas tecnologias. Um grande desafio, de acordo com Pontes & Stellin⁽¹²⁾, é o aproveitamento de forma racional de resíduos provenientes de processos industriais, operações de lavra e beneficiamento de rochas ornamentais. Menezes et al.⁽¹³⁾ dizem que a reutilização e a reciclagem de resíduos, são consideradas, atualmente, alternativas que podem contribuir para a diversificação dos produtos de uma série de setores industriais, para a conservação de recursos não renováveis, para a economia de energia e, principalmente, para a melhoria da saúde da população.

A maioria do rejeito gerado pela indústria é, em geral, descartada em campo aberto e em várzeas de riachos e rios, o que causa vários danos ao meio ambiente, com agressão à fauna e flora e à saúde da população. Ferreira & Nunes⁽¹⁴⁾ apontam que essa postura das empresas vem sendo alvo de severas fiscalizações fazendo com que o resíduo gerado se transforme em uma fonte de custos para as empresas e um limitante no aumento de suas produções.

Dados da literatura demonstram que o uso de resíduos de granito para formulações em cerâmica vermelha agregam valor ao produto.

[...] Foi ressaltado o uso do rejeito de granito em formulações em cerâmica vermelha para fabricação de telhas, produto mais obre e de maior valor agregado. Neste caso, observam-se que ocorre redução na retração do material e elevação da resistência mecânica da peça com certa quantidade de rejeito, que favorece a formação de fase líquida na queima, características importantes para o produto⁽¹⁵⁾.

Cerâmicas tradicionais como telhas, blocos e revestimento cerâmicos geralmente apresentam grande variação de composições das argilas utilizadas como matéria-prima para sua fabricação, o que possibilita uma grande tolerância para a incorporação de grandes quantidades de resíduos inorgânicos⁽¹⁶⁾. Este fato favorece a incorporação dos resíduos, gerando benefícios tanto no aspecto econômico quanto ambiental.

Com a grande quantidade de resíduo gerada e tentando contribuir para um maior desenvolvimento sustentável e um maior aproveitamento dos resíduos na construção civil, alguns pesquisadores já estudaram o resíduo resultante do beneficiamento de rochas ornamentais na produção de argamassas⁽¹⁷⁾, tijolos cerâmicos⁽¹⁸⁾, peças cerâmicas⁽¹⁹⁾ e concretos⁽²⁰⁾.

Algumas das indústrias cerâmicas de Campos dos Goytacazes, RJ, acenam com a possibilidade de uso do rejeito de granito para introdução na massa cerâmica da região visando obter produtos de melhor qualidade. Destaca-se que inúmeras pesquisas mostram melhorias nos produtos cerâmicos com a incorporação de resíduo de granito. Os materiais atualmente produzidos no pólo cerâmico de Campos, RJ, apresentam alguns problemas quando expostos as condições climáticas locais. Isso ocorre nos cerâmicos sem proteção mecânica externa das paredes e em telhados com pequena declividade. Os principais problemas observados são : alvenaria de vedação deteriorada, telhas com gotejamento s, trincas aparentes, etc⁽²¹⁾

Fica evidente que o uso da lama de marmoraria pode ser muito vantajoso aos ceramistas, tendo em vista que, possibilita o aumento da vida útil da jazida e a redução dos custos de composição de áreas com vegetação nativa, pois sabe-se que uma vez extraída a argila, ocorre a degradação do meio ambiente já que devasta as matas e provoca assoreamento nos rios.

Corroborando com os dados acima, Silva et al.⁽²²⁾ demonstraram que os resultados mostram que a heterogeneidade dos produtos cerâmicos tradicionais permite a incorporação de uma quantidade desses rejeitos sem prejuízo das propriedades dos produtos finais e com o alívio das preocupações com os descartes dos rejeitos. Mesmo quando as quantidades adicionadas são pequenas, a grande quantidade de produtos cerâmicos fabricadas traduz-se num consumo significativo de rejeitos. Além disso, atendendo às relativamente elevadas temperaturas de queima (>1000°C), a incorporação de rejeito na matriz cerâmica é efetiva, o que é particularmente interessante quando se pretende tornar inertes rejeitos perigosos⁽²³⁾.

Deste modo, podemos concluir que a busca de desenvolvimento sustentável, a utilização de resíduos na indústria da construção civil se mostra como uma alternativa viável para minimizar impactos ao meio ambiente, além dos impactos econômicos e sociais. Uma vez que, é um dos setores que mais geram resíduos, e que, no entanto, apresenta grande potencial na reutilização dos mesmos.

O resíduo de granito possui partículas de pequenas dimensões, 66% de partículas entre 0,002 e 0,06 mm, é uniforme, construindo basicamente de minerais primários e, segundo sua caracterização química, é adequado ao uso para massas cerâmicas⁽²⁴⁾. Segundo Neves, et al.⁽²⁵⁾ os resíduos apresentam comportamento não plástico, como nos materiais cerâmicos seus constituintes são na maioria óxidos sendo estes atrativos a indústria cerâmica.

Como método proposto para norteamto deste estudo utilizou-se o método dedutivo, que de acordo com o entendimento clássico, é o método que parte do geral e, a seguir, desce ao particular. A partir de princípios, leis ou teorias consideradas verdadeiras e indiscutíveis, prediz a ocorrência de casos particulares com base na lógica.

A posteriori utilizou a pesquisa de coleta de campo, processamento e análise das amostras obtidas. A pesquisa de campo consiste na observação dos fatos que ocorrem livremente, na coleta dos dados para posteriores análises. De acordo com Oliveira⁽²⁶⁾ a abordagem quantitativa preocupa-se com quantificação de dados, usando recursos de técnicas estatísticas; é muito utilizada em pesquisas descritivas nas quais se procura descobrir e classificar a relação entre variáveis ou em pesquisas conclusivas, que buscam conectar as relações de casualidade entre os eventos.

O estudo foi elaborado por meio da realização de algumas etapas elencadas a seguir: a) revisão de literatura; b) delimitação do tema e da área de estudo, bem como da amostra; c) elaboração dos protocolos prático-laboratoriais da pesquisa e posterior interpretação; d) apresentação de resultados.

Este trabalho, em sua parte de campo, compreendeu o período do mês de agosto de 2018. Com a colaboração de uma marmoraria, local de beneficiamento de chapas de mármore e granito, que possuía ambiente adequado para armazenamento dos resíduos, localizada no município de Ilhéus- Bahia. Realizou-se o contato inicial com o seu administrador garantindo colaboração para a utilização do resíduo ali produzido. A confecção dos tijolos artesanais foi realizada em uma olaria no município de Itabuna-Ba. A área do estudo foi o município de Itabuna, localizado no sul da Bahia, que possui uma área total de 432,244 km², estando a 426 km da capital do estado⁽²⁷⁾.

A amostra consiste num resíduo agregado ou “lama” residual (Figura 1), no qual se encontram compostos de mármore, o pó do granito (Figura 2), bem como água, pois este é o veículo de arraste das partículas de modo a minimizar perdas e ainda a dispersão delas no ar, fato este que minimiza o contato com as vias respiratórias de seus operadores.



Figura 1: “Lama” residual do corte do mármore/granito



Figura 2: Pó do mármore/granito

As amostras foram retiradas do tanque de decantação (Figura 3), feito de concreto que possui as dimensões 6,00m X 1,30m X 1,50m = 11,7 m³, e é compartimentalizado em três divisões que constam de uma caixa de entrada onde o resíduo se deposita pela força da gravidade e outras duas disposta em sequência.



Figura 3: Tanque de decantação da “lama” do corte do mármore/granito

Ao atingir o nível de 1,50m o resíduo migra de uma câmara para outra do tanque, pois a atual não é mais capaz de compartimentalizar o volume, através de uma abertura lateral que dá acesso a próxima câmara de tamanho equivalente. No terceiro compartimento localiza-se uma bomba de sucção que drena a água (após decantação do resíduo) e deposita essa água numa caixa acessória que fica suspensa. A água armazenada na caixa acessória é reutilizada no corte das chapas, este fato minimiza o agravo ambiental que poderia ser causado se esta água fosse dispensada no meio ambiente. Conforme recomendado na NRB 10.007, da ABNT, a higienização do tanque de decantação ocorre anualmente.

2.3. Confeção dos tijolos com resíduo

Tendo como base argila e seguindo recomendações estruturais conforme a NBR 7170, foram confeccionadas quatro tijolos (um para cada proporção de agregação de mistura e um tijolo “controle” sem resíduo) de modo artesanal, em uma olaria no município de Itabuna/Ba. Para agregar o resíduo de mármore e granito devidamente seco, do volume total da amostra obtido, à mistura utilizou-se os volumes apresentados no QUADRO 1:

AMOSTRA	UNIDADE	QUANT. DE RESÍDUO
0	g	0
1	g	115
2	g	230
3	g	345

Quadro 1: Amostras e Dosagem de Resíduos

Após preparo da mistura preencheu-se as fôrmas adequadas e deixou em processo de cura descansando por quatro dias até a realização da queima a 800 C por dezoito horas. Segundo Sedin⁽²⁸⁾, a queima é composta pelas seguintes fases:

- 1) Desidratação: a água contida nos poros evapora e parte da matéria carbonosa é queimada;
- 2) Oxidação: toda matéria combustível é consumida, sendo eliminados o carvão e o enxofre. O óxido ferroso é oxidado, transformando-se em óxido férrico;
- 3) Vitrificação: não ocorre em tijolos comuns. É chamada de vitrificação pela contração e fechamento dos poros da argila através da queima. Esse processo é imprescindível à boa qualidade do produto final.

2.4. Técnicas Laboratoriais

Para a produção e verificação do tijolo construído utilizaram os seguintes métodos: “Determinação da Absorção de Água” e “Determinação da Resistência à Compressão Mínima”.

Estes testes laboratoriais foram realizados com base nas seguintes normas:

- NBR 6.460 - Tijolo maciço cerâmico para alvenaria – Verificação de resistência à compressão – Método de Ensaio.
- NBR 8.041 - Tijolo maciço cerâmico para alvenaria – Forma e dimensões – Padronização.
- NBR 8.947, de novembro de 1992: Telha Cerâmica – Determinação da Massa e da Absorção de água: Método de Ensaio.
- Portaria Imetro n 152, de 08 de setembro de 1998: estabelece as condições para comercialização dos blocos cerâmicos para alvenaria (dimensões e marcações) e a metodologia para execução do exame de verificação da conformidade metrológica dos mesmos⁽²⁹⁾.

2.5 Determinação da Absorção de Água

O índice de absorção é a quantidade de água que um tijolo é capaz de absorver e é um indicador de qualidade. O índice representa a proporção, em relação a sua massa que é capaz de absorver água. Os tijolos, quando assentados entram em contato com a argamassa em estado plástico, que contém a quantidade de água necessária para garantir a trabalhabilidade no assentamento e a hidratação correta do cimento. O tijolo ao absorver parte da água da mistura pode prejudicar o processo de hidratação.

Para prevenir estes problemas a norma estabelece um índice de absorção de água inicial (AAI) que mede a capacidade de absorção inicial, fixando os valores aceitáveis para garantir o processo de hidratação. Esse ensaio verifica o percentual de água absorvido pelo tijolo cerâmico, obtido a partir da diferença entre a massa seca para a massa úmida da amostra (Parâmetro : $8\% < \text{Absorção de Água} < 25\%$).

De acordo com a metodologia de ensaio descrita pelo INMETRO⁽³⁰⁾, primeiro determina-se a massa do bloco cerâmico após ter sido colocada em estufa para secagem. Feito isso, mergulha-se a amostra em água, deixando-a submersa por um período de tempo. Desta vez, mede-se a massa do bloco úmido. Com a diferença entre os dois valores encontrados, obtém-se o percentual de água absorvido pela amostra.

2.6 Determinação da Resistência à Compressão Mínima

A resistência do tijolo (fck) depende das matérias primas empregadas em sua fabricação bem como do processo de queima. Em geral, considera-se a resistência como um indicador de qualidade do tijolo.

Este ensaio verifica a capacidade de carga que os tijolos cerâmicos suportam quando submetidos a forças exercidas perpendicularmente sobre suas faces opostas e determina se as amostras oferecem resistência mecânica adequada, simulando a pressão exercida pelo peso da construção sobre os tijolos tendo como parâmetro mínimo: Resistência à compressão $> 1,0$ Mpa.

O não atendimento aos parâmetros normativos mínimos indica que a parede poderá apresentar problemas estruturais como rachaduras e, conseqüentemente, oferecerá riscos de desabamento à construção. A norma brasileira estabelece 07 (sete) classes de resistência à compressão. Essa resistência é determinada a partir dos resultados obtidos pelas amostras durante o ensaio ou em função da informação prestada pelo fabricante⁽³¹⁾.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os tijolos maciços podem ser caracterizados como um tijolo de baixo custo e são utilizados como estruturas de prédios ou como alvenaria de vedação. As normas que regulamentam o tijolo maciço cerâmico são:

- 1) NBR 6460/1983 – Tijolo maciço para alvenaria – verificação da resistência a compressão.
- 2) NBR 7171/1983 - Tijolo maciço cerâmico para alvenaria - especificação.
- 3) NBR 8041/1983 – Tijolo maciço cerâmico para alvenaria – forma e dimensões.

Respeitando as normas estabelecidas pela ABNT foram elaborados quatro tijolos com as medidas precisamente iguais (10 cm de largura por 20 cm de comprimento e 5,7 cm de altura). Um destes como uma espécie de controle aqui chamado de “tijolo controle” ou amostra 0, que não continha a adição do resíduo e outros três chamados “tijolo teste” com os volumes já referidos anteriormente que são amostras 1, 2 e 3. Do ponto de vista estético/visual denotou-se uma mudança na coloração entre o “tijolo controle” e o “tijolo teste”, como pode ser observados nas Figuras 4 e 5.



Figura 4: Tijolo Controle



Figura 5: Tijolo Teste

Denota-se uma coloração mais viva, voltado para o tom terroso bem característico da composição convencional do tijolo maciço (Figura 4), quando comparado com o tijolo agregado ao resíduo (Figura 5), onde podemos observar zonas esbranquiçadas (fotografia confeccionada com flash convencional de câmara digital portátil sem demais alterações artísticas em editores de imagem). De acordo com os testes exibidos posteriormente, os resultados na coloração não influenciaram diretamente na qualidade e resistência do tijolo fabricado com ou sem resíduo.

Dentre as observações visuais e sensitivas podemos incluir o fato de o tijolo confeccionado com o resíduo apresentar-se mais pesado em relação ao sem resíduo bem como a argila adquiriu características de inferior aspereza também quando comparado com o tijolo sem o resíduo.

Os tijolos não devem apresentar defeitos sistemáticos tais como trincas, quebras superfícies irregulares, deformações e desuniformidade na cor. Este aspecto de desuniformidade na cor representa um pequeno obstáculo para a suplementação do tijolo maciço de alvenaria com o resíduo de mármore e granitos, sendo uma alternativa para o acompanhamento desta recomendação da norma a mudança no tipo de argila de modo a agregar uma coloração mais densa e homogênea.

Após realização do teste “Determinação da Absorção de Água”, obtivemos resultados, que podem ser visualizados no QUADRO 2, nos quais todas as amostras enquadradas na análise se encontram dentro dos parâmetros indicados e esperados ($8\% < \text{Absorção de Água} < 25\%$) pelo órgão responsável pela fiscalização e inspeção da produção de tijolos cerâmicos no Brasil o INMETRO.

Os valores obtidos no quadro a seguir foram calculados com base na seguinte fórmula:

$$AA(\%) = \frac{Mh - Ms}{Ms} \times 100$$

Onde:

AA = Absorção de água

Mh = Massa do tijolo ou bloco em estado saturado de água

Ms = Massa do tijolo ou bloco

Figura 6 : Cálculo de determinação de “Absorção de Água”. - Fonte: INMETRO, 2012.

N da Amostra	Peso Seco (pré-teste)	Peso Saturado (pós-teste)	Volume de água absorvido (%)
TIJOLO 0	1,685 Kg	2,005 kg	18,99%
TIJOLO 1	1,800 kg	2,125 kg	18,05%
TIJOLO 2	1,790 kg	2,115 kg	18,15%
TIJOLO 3	1,795 kg	2,115 kg	17,82%

QUADRO 2: Expressão dos resultados do teste de “Determinação de Absorção de água”.

Conforme recomendações do Inmetro os valores de absorção não devem ser superiores a 25%. Como podem ser visualizados no quadro, os valores de absorção de água se enquadram dentro das especificações indicadas pelo órgão fiscalizador, logo a inclusão do resíduo não provoca alterações, significativas neste critério tornando permissível sua utilização sem causar fragilidades ou patologias nos tijolos.

Limites de absorção permitem uma aderência adequada entre os tijolos, bloco cerâmicos e a argamassa, superfícies irregulares, porosas retiram rapidamente grande parte da água de amassamento da mistura fresca aumentando a retração da argamassa de assentamento e revestimento.

Todas as amostras atenderam ao exigido pelo Inmetro, no que se refere à absorção de água. A variação da absorção de água, dentre todas as amostras, varia de 17,82% a 18,99% com um valor médio de 18,25%. Valor considerado adequado conforme as normas e inferior há alguns trabalhos contidos na literatura.

Para realização do teste de compressão utilizou uma prensa manual (REF S. 506, modelo SOLOTEST, 2005). Esta prensa foi cedida para experimentação na Concretaria POLIMIX no município de Ilhéus/Ba.

A prensa manual é capaz de comprimir corpos de prova a até 120.000 kgf. Possui duas velocidades diferentes: uma para ensaio lento e outra para aproximação e retorno rápido. A leitura da carga é efetuada através de anel dinamométrico calibrado e a medição da compressão é feita por um extensômetro com resolução de 0,01mm. Conforme norma: NBR 12770.

Um dos requisitos para a execução deste teste é mergulhar os tijolos em um tanque repleto de água, para cobertura total da amostra, por um período de 24 horas, conforme a NBR 6460/1983.

Os corpos de prova tinham 10cm X 9,5 cm de área para então dar seguimento ao teste um a um, conforme visualiza-se nas Figuras 7, 8, 9 e 10 .



Figura 7: Amostra 0 – Tijolo Controle



Figura 8: Amostra 1 – Tijolo Teste



Figura 9: Amostra 2 – Tijolo Teste



Figura 10: Amostra 3 – Tijolo Teste

Como podem ser observados nas imagens acima, os corpos de prova (tanto o “controle” quanto o “teste”) apresentam rompimento quase no mesmo lugar.

A NBR 7170/1983 recomenda que os tijolos maciços tenham resistência mínima de 1,5 MPa. O valor médio de resistência a ruptura obtido foi de 2,07 MPa, logo nos aspectos de resistência os corpos de prova com maior quantidade de resíduo obtiveram melhores resultados. Já o corpo de prova sem resíduo e o corpo de prova com baixo volume de resíduo agregado também passaram no teste de compressão se realizados pelo órgão fiscalizador. Seguem os valores obtidos no QUADRO 3.

N da Amostra	Resistência de Ruptura
Tijolo 0	1,5 Mpa
Tijolo 1	1,6 Mpa
Tijolo 2	2,5 Mpa
Tijolo 3	2,7 Mpa

QUADRO 3: Valores obtidos no teste de compressão.

Observou-se a redução da retração do mineral e elevação da resistência mecânica da peça com certa quantidade de rejeito, um volume elevado de suplementação do tijolo exibiu melhores resultados. Logo, podemos concluir que a utilização do resíduo representa sim a agregação de valor comercial à peça confeccionada, bem como o destino mais adequado ao resíduo produzido pelas indústrias de beneficiamento de mármore e granito, além de ter sido comprovado a elevação de qualidade do produto final.

4 CONCLUSÃO

Tendo em vista todo o exposto pode-se concluir que a utilização do resíduo de mármore e granitos na fabricação de tijolos de cerâmica artesanais agrega valor comercial tendo em vista a redução do impacto ambiental que seria causado pela acomodação inadequada deste resíduo na natureza. O destino inadequado gera multas e gastos que podem ser evitados quando tomadas algumas medidas simples como o destino adequado do resíduo.

Além de fornecer uma alternativa “verde” e sustentável para o destino destes dejetos podemos enfatizar também a questão da empregabilidade, visto que, para tratamento e reaproveitamento destes rejeitos será necessário mão-de-obra e, por conseguinte irá gerar empregos ainda que indiretamente.

Das amostras de produtos analisados e confeccionados, a maior parte não apresentou defeitos sistemáticos como trincas, quebras, superfícies irregulares, deformações e empenamento.

O sazonalidade, a caracterização da matéria-prima, o controle da unidade de extrusão e pressão, a temperatura e umidade residual das peças, ao sair do secador e queima, resultam em produtos com qualidade variável, se não controlado. Garantir a normatização ou padronização dos produtos, fato este que não ocorre por se tratar de uma olaria artesanal.

De fato, o efeito mais promissor da utilização do resíduo na suplementação de tijolos é o favorecimento ambiental causado pelo destino mais adequado ao resíduo, deste modo esta opção deve sim ser levada em consideração pois configura a aplicação de uma nova tecnologia, logo há sim a viabilidade do emprego desta técnica proposta.

Levando em consideração o custo benefício, para as indústrias de beneficiamento de rochas ornamentais, é favorável, já que as mesmas estarão cumprindo com as obrigações ambientais e ainda minimizando custos, tendo em vista a manutenção dos tanques de decantamento, pois serão utilizados por um período menor de tempo exigindo assim menos manutenções periódicas.

Possivelmente, o agregamento deste resíduo irá diminuir a demanda de outros componentes na execução da massa que compõem o tijolo, logo irá promover diminuição de custos na composição deste tijolo além de gerar parcerias econômicas favorecendo tanto a indústria de rochas ornamentais por dar um destino mais correto ao resíduo como para a indústria da construção civil, pois irá amenizar custos de obras.

Logo, consideramos viável do ponto de vista econômico e ambiental a utilização do resíduo de mármore e granito na composição de tijolos, fato este que corrobora com a literatura especializada. A reutilização dos resíduos fornece matérias primas alternativas para uma série de setores industriais, conservação de recursos não renováveis, economia de energia e, principalmente, melhoria na saúde da população que trabalha com o material oriundo das chapas de mármore e granito.

REFERÊNCIAS

- 1 MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica Rochas Ornamentais Brasília, 2007
- 2 COTRAN, R. et al. Robbins Pathologic Basis os Disease. 7Th edition. W.B. Saunders, Philadelphia, 2002
- 3 JOHN, V.M. Reciclagem de resíduos na construção civil; Contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento. Tese(Livre Docente) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2000. Disponível em: <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/des_sustentavel.htm> Acesso em 23 de agosto de 2018
- 4 FORMIGONI apud SANTOS, R. A. ; LIRA, B. B. & RIBEIRO, A. C. M. Argamassa com substituição de agregado natural por resíduo de britagem de granito In: HOLOS V. 5, IFRN, Natal, 2012. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/1119/604>> Acesso em 23 de agosto de 2018
- 5 GONÇALVES, J.P. Utilização do resíduo de corte de granito(RCG) como adição para a produção de concretos. Dissertação(Mestrado) Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/1676>> Acesso em 23 de agosto de 2018
- 6 ILVA, F. C. ; LIMA, F.V.R.; PAIXÃO, A.E.A & SANTOS, J.A.B. **Mapeamento de tecnologias associadas ao Reaproveitamento de resíduos sólidos e reciclagem de Materiais utilizados no setor da construção civil Brasileira** In: VII ISTI/SIMTEC Vol. 3/n.1/ p.048-057, Aracaju/SE, 2016. Disponível em: <<http://www.api.org.br/conferences/index.php/ISTI2016/ISTI2016/paper/viewFile/23/7>> Acesso em 23 de agosto de 2018
- 7 MOURA, W. A. & GONÇALVES, J. P. Utilização do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais (mármore e granitos) na construção civil In: IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Foz do Iguaçu/PR, 2002. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/entac2014/2002/Artigos/ENTAC2002_1653_1660.pdf> Acesso em 23 de agosto de 2018

- 8 BISPO, C.S. Gerenciamento de resíduos sólidos recicláveis: estudo de caso das cooperativas do município de Natal/RN Dissertação(Mestrado) Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia . Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Natal/RN, 2013. Disponível em:
<https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/15067/1/CristinaSB_DISSERT.pdf
> Acesso em 23 de agosto de 2018
- 9 MOREIRA J. M. S., FREIRE M. N., HOLANDA J. N. F. Utilização de resíduo de serragem de granito proveniente do estado do Espírito Santo em cerâmica vermelha. São Paulo, 2003. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/ce/v49n312/a1249312.pdf>>. Acesso em 04 de setembro de 2018.
- 10 SAUTEREY, 1978, apud MENEZES R. R., FERREIRA H. S., NEVES G. DE A., FERREIRA H. C. Uso de rejeitos de granitos como matérias primas cerâmicas. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa: PB. 2002. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/ce/v48n306/10685.pdf>> . Acesso em 04 de setembro de 2018.
- 11 NOGUEIRA R. R. F. Q., ARGONZ, R., MATTOS I. C., CORDEIRO E. R., ARAÚJO A. T. F. S. Caracterização de resíduos provenientes da Extração de Granitos da Serra da Meruoca (CE) Visando seu aproveitamento como Matéria – Prima Cerâmica. In 17º CBECIMAT- Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Foz do Iguaçu. PR, 2006. Disponível < <http://www.metallum.com.br/22cbecimat/>> . Acesso em 04 de setembro 2018.
- 12 PONTES, I. F., STELLIN, A. J. Utilização de resíduos de rochas ornamentais nas indústrias de construção civil. [anais] XXI Encontro Nacional de tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa (XXI ENTMME). Natal: RN. P. 607 Vol2. 2005.
- 13 MENEZES, R. R. et. al. Análise da co-utilização do resíduo do beneficiamento do caulim e serragem de granito para produção de bolos e telhas cerâmicos. Cerâmica [online]. 2007a, vol.53, n°.326, pp. 192-199. Disponível em < http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0366-69132007000200014&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acesso em: 04 de setembro de 2018.
- 14 FERREIRA A. C. B., NUNES E. D. C. D. Reaproveitamento e incorporação de resíduo de mármore em poliamida 66. Revista Eletrônica de Educação e Tecnologia do SENAI-SP, Vol. 3, n° 5. 2009. Disponível em: < <http://pdf.blucher.com.br/s3-sa-east-1.amazonaws.com/chemicalengineeringproceedings/cobeq2014/1546-18725-150407.pdf>> Acesso em : 23 de agosto de 2018.
- 15 XAVIER, G. C.; SABOYA, F.; MAIA, P. C. A. & ALEXANDRE, J. Análise de processos de degradação acelerada em laboratório para estudo da durabilidade de peças cerâmicas vermelhas incorporadas com resíduo de granito. Cerâmica [online]. 2009, vol. 55, n°.333, pp. 1-10. Disponível em : < <http://proic.unb.br/images/Anais/2015/ResumoProIC-2014-Vol3.pdf>> Acesso em: 04 de setembro de 2018.
- 16 MENEZES R. R., DE ALMEIDA R. R. et al. Utilização do resíduo do beneficiamento do caulim na produção de blocos e telhas cerâmicos. Revista. Matéria 12, n° 1, 2007b : 226-236. Disponível em : < <http://www.scielo.br/pdf/ce/v53n326/14.pdf>>. Acesso em 04 de setembro de 2018.
- 17 CALMON, J. L. et al. Aproveitamento do resíduo de corte de granito para produção de argamassas de assentamento. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. [anais] Salvador, BA: ANTAC. P. 64-75. 1997.
- 18 NEVES, G. A.; MENEZES, R. R.; FERREIRA, H.C. O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas. Revista Brasileira de Energia Agrícola e Ambiental, v.6, n2, p. 303-313, 2002.

- 19 LIMA FILHO, V.X. et al. Determinação de parâmetros para a racionalização do processamento de rochas graníticas por abrasão. In: Congresso Brasileiro Engenharia Mecânica. [anais] São Paulo. 1999.
- 20 GONÇALVES, J.P. Utilização do resíduo de corte de granito(RCG) como adição para a produção de concretos. Dissertação(Mestrado) Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/1676>> Acesso em 23 de agosto de 2018
- 21 XAVIER, G. C.; SABOYA, F.; MAIA, P. C. A. & ALEXANDRE, J. Análise de processos de degradação acelerada em laboratório para estudo da durabilidade de peças cerâmicas vermelhas incorporadas com resíduo de granito. Cerâmica [online]. 2009, vol. 55, n°.333, pp. 1-10. Disponível em : <<http://proic.unb.br/images/Anais/2015/ResumoProIC-2014-Vol3.pdf>> Acesso em: 04 de setembro de 2018.
- 22 SILVA, J. B.; HOTZA, D.; SEGADAES, A. M. & ACCHAR, W. Incorporação de lama de mármore e granito em massas argilosas. Cerâmica [online], vol. 51, n. 320, pp. 325-330. 2005. Disponível em < http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0366-69132005000400004&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acesso em: 04 de setembro 2018.
- 23 SILVA, J. B.; HOTZA, D.; SEGADAES, A. M. & ACCHAR, W. Incorporação de lama de mármore e granito em massas argilosas. Cerâmica [online], vol. 51, n°. 320, pp. 325-330. 2005. Disponível em < http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0366-69132005000400004&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acesso em: 04 de setembro 2018.
- 24 XAVIER, G. C.; SABOYA, F.; MAIA, P. C. A. & ALEXANDRE, J. Análise de processos de degradação acelerada em laboratório para estudo da durabilidade de peças cerâmicas vermelhas incorporadas com resíduo de granito. Cerâmica [online]. 2009, vol. 55, n°.333, pp. 1-10. Disponível em : <<http://proic.unb.br/images/Anais/2015/ResumoProIC-2014-Vol3.pdf>> Acesso em: 04 de setembro de 2018.
- 25 NEVES, G. A.; MENEZES, R. R.; FERREIRA, H.C. O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas. Revista Brasileira de Energia Agrícola e Ambiental, v.6, n°2, p. 303-313, 2002.
- 26 OLIVEIRA, S. L. de. Tratado de metodologia científica: projetos de pesquisas, TGI, TCC, monografias, dissertações e teses. São Paulo: Pioneira, 1997.
- 27 IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Divisão Territorial do Brasil e Limites Territoriais. Disponível em : <https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/default_dtb_int.shtm >. Acesso em: 04 de setembro de 2018.
- 28 SEDIN, A. M. Cerâmica artística. São Paulo: Folcomascci, 1965.
- 29 ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7170-96, “Tijolo maciço cerâmico para alvenaria, especificações”, Rio de Janeiro, 1996.
- 30 INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Bloco cerâmico (Tijolo). 2012. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001946.pdf>>. Acesso em 04 de setembro de 2018.
- 31 INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Bloco cerâmico (Tijolo). 2012. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001946.pdf>>. Acesso em 04 de setembro de 2018.

UTILIZAÇÃO DE ARDUINO PARA MEDIÇÃO DE DENSIDADE DE CERVEJA

De Barba Jr., D. J.¹

Wiegand, F. T.²

Pierobon, L. R. P.³

¹ *Doutor, Durval João De Barba Junior, IFSul, debarbajr@sapucaia.ifsul.edu.br.*

² *Engenheiro, Flávio de Toledo Wiegand, IFSul, flavio.tw@gmail.com.*

³ *Doutor, Luis Ricardo Pedra Pierobon, IFSul, luispierobon@sapucaia.ifsul.edu.br.*

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

Resumo

O presente trabalho tem por objetivo o desenvolvimento de um método automatizado, baseado na plataforma Arduino, para monitoramento de densidade de cerveja visando à redução do desperdício de mosto na realização de testes, amostrais, e por erro de processo visto tardiamente. Após revisão bibliográfica, estabeleceu-se método e restrições, visando o cervejeiro caseiro (pequena escala). Utilizando-se da plataforma Arduino e suas bibliotecas, sensores de pressão e temperatura, noções programação, instrumentação, interpolação de variáveis e noções de eletrônica, fez-se um equipamento capaz de medir variável binária, a uma altura constante, e registrar junto com a temperatura, que posteriormente foi convertido em densidade normalizada (20°C) com o auxílio do fator de conversão para a variável binária para densidade e de compensação de temperatura, também calculados. Os resultados obtidos dos ensaios feitos (de 2 a 21°C) foram confrontados com as densidades dos itens à 20°C. Concluiu-se que, considerando os resultados, é possível a obtenção de dados utilizando o método por diferencial de pressão, de forma contínua, com um valor de custo baixo para montagem, por ser comparável aos valores de um densímetro de empuxo ou refratômetro, com uma precisão aceitável para verificação de variação de densidade, sem a necessidade de descarte de produto para medição de densidade.

Palavras-chave: Densidade; Arduino; Medidor automático; Cerveja.

USING ARDUINO TO MEASURE BEER DENSITY

Abstract

This study aims to develop an automated method based on the Arduino platform for beer density monitoring aimed at reducing waste must in testing, sampling, and process error seen later. After literature review, it was established method and restrictions, aimed at homebrewer (small scale). Using the Arduino platform and its libraries, pressure and temperature sensors, programming notions, instrumentation, variable interpolation and notions of electronics, an equipment capable of measuring binary variable at a constant height was made and recorded together with the temperature, which was then converted to normalized density (20°C) with the aid of the conversion factor for the binary variable for density and temperature compensation, also calculated. The results of the tests made (2 - 21°C) were compared with the densities of items to 20°C. It was concluded that, considering the results, it is possible to obtain data using the pressure differential method, continuously, with a low cost

value for assembly, because it is comparable to the values of a buoyancy or refractometer densimeter, with acceptable accuracy for density variation verification without the need for disposal of product density measurement.

Key words: Density; Arduino; Automatic meter; Beer.

1 INTRODUÇÃO

Para fabricação das cervejas mais comuns, em pequenas proporções (até 50 litros), é necessário um gasto de 20% a 35% da quantidade gerada, em quilograma, de grãos de cevada. E para esses processos, os testes de densidade, para acompanhamento e definição de final da etapa de fermentação, são feitos, na maioria das vezes, via densímetro convencional (empuxo). Este densímetro além de ser amostral, desperdiça em média 0,5 litro por verificação (o material testado não pode retornar para o processo por possibilidade de contaminação). Considerando que a estimativa é de existirem mais de 20.000 cervejeiros caseiros e que produzam três levas por mês, com média de três análises por leva, desperdiça-se, em torno de 1.000.000 de litros de cerveja para verificação de densidade no Brasil⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾.

Ao considerar a história e a importância da bebida, no cotidiano dos cidadãos e economia brasileira, os gastos energéticos e de matéria prima, a qualidade e características que elevam o sabor a excelência, garantindo os menores desperdícios possíveis, devem ser a meta, e para conseguir atuar de forma que possa existir garantia, repetibilidade e melhoria de processo é necessário possuir a maior quantidade de registro de dados.

Buscado fazer uso da plataforma Arduino, este trabalho propõe o desenvolvimento de um método de medição eficiente e preciso, para obtenção de densidade por diferença de pressão, com análise automática e periódica, possibilitando, assim, a futura construção de equipamento em que não ocorra desperdício de material para a geração de dados. Desta forma este trabalho pretende responder o seguinte questionamento: É possível gerar, de forma contínua e alternativa, o valor da densidade, sem gastos de matéria prima durante a fermentação com baixo custo despendido em equipamento?

Arduino é um microcontrolador com um conjunto de softwares para programá-lo, tendo como características principais simplicidade de software, hardware e software de fonte aberta (podem ser utilizados e reproduzidos por qualquer um) e pode interagir com o ambiente (por meio de sensores ou atuadores como exemplo). Pode ser utilizado para criar e desenvolver objetos interativos independentes e ou ligado por computador⁽⁴⁾.

O conceito de cerveja é de bebida alcoólica, carbonatada, produzida pela fermentação de materiais com amido (normalmente convertido em açúcares de menor complexidade), principalmente cereais maltados como a cevada e o trigo. Sua composição inclui água, malte, lúpulo e fermento, além de temperos, como frutas, ervas, cereais não maltados e outras plantas⁽⁵⁾⁽²⁾.

Basicamente, o processo de fabricação é dissolver a cevada maltada em água quente formando açúcares, ferver com lúpulo (conferindo amargor e aromas característicos), resfriar a solução e se adicionar levedura para começar a fermentação (transformando açúcares em CO₂, álcool etílico e outros aromas), maturar esse composto (arredondando sabor, clarificando e terminando a

fermentação), e por fim, engarrafar a cerveja, ainda sem descarbonatada, e aplicar técnica de *priming* ou carbonatação forçada⁽⁶⁾⁽²⁾.

A fermentação é uma transformação dos açúcares do malte em cerveja em um processo bioquímico complexo. Fermentação total ocorre em três fases, a fase da Adaptação, a fase Atenuativa e a fase Condicionante. As fases Atenuativa e Condicionante ocorrem em paralelo, mas o processo de condicionamento ocorre mais lentamente, visto que, a maioria dos açúcares foi consumida, as leveduras vão digerir os açúcares complexos e subprodutos das leveduras⁽⁶⁾⁽²⁾.

Na fase da Adaptação a levedura inicia o processo de adequação às condições do mosto, e de modo que a reprodução por divisão celular consuma muita energia, os processos metabólicos aeróbicos (com presença de oxigênio) são mais eficientes que anaeróbicos (sem a presença de oxigênio), evidenciando a necessidade do oxigênio nesta etapa. Nesta fase do processo, a levedura faz estoque de açúcares e outros nutrientes presentes. Em condições normais, essa etapa dura perto de 12 horas⁽⁶⁾⁽²⁾.

Na fase atenuativa, a divisão celular da levedura deixa de ser tão intensa e começa a ocorrer a fermentação, transformação de açúcares em álcool, diminuindo entre 2/3 e 3/4 da densidade relativa ao mosto. A maior redução ocorre durante esta etapa e pode durar de 2 a 10 dias, dependendo do tipo de cerveja e das condições. Nesta fase, muitos dos sabores indesejados (*off-flavors*) podem ser formados, tornando o controle da densidade imprescindível⁽⁶⁾⁽²⁾.

Na fase de acondicionamento, a etapa vigorosa inicial chegou ao fim, os açúcares converteram-se em álcool e a maioria das células de levedura está inativa, mas algumas ainda estão ativas, consumindo os açúcares mais pesados, como a maltose⁽⁶⁾⁽²⁾.

Os métodos mais utilizados, para garantir o controle de densidade (massa específica), na indústria cervejeira são com o uso de refratômetro e com o uso de densímetro, devido ao seu baixo custo, fácil aquisição e manuseio⁽⁷⁾.

Os densímetros funcionam pelo princípio do “empuxo”; a força exercida no instrumento que o faz flutuar dentro da amostra líquida. É utilizado para identificar e calcular a massa em líquidos formados por mais de um tipo de substância. O instrumento é imerso em um recipiente com líquido a ser medido com o intuito de obter a massa específica. A leitura é feita observando o nível do líquido na marca graduada no instrumento e é convertida para o valor na temperatura padrão de 20°C com a ajuda da Tabela de Conversões de Densidade por Temperatura⁽²⁾, que é utilizada somando-se o valor respectivo ao valor de temperatura a densidade mensurada pelo instrumento. Tem como características positivas o baixo custo e a capacidade de medir densidade real do mosto, independente dos açúcares dissolvidos e suas proporções, e negativas a necessidade de correção em tabela, desperdício de mosto e a verificação é amostral⁽⁷⁾⁽²⁾.

Atenuação é um termo utilizado para descrever o percentual de açúcar do malte que foi convertido em etanol e CO₂ pela ação da levedura. Os açúcares, contidos no mosto inoculado com fermento, são, no geral, fermentáveis, sendo somente as Dextrinas não fermentáveis, por serem mais complexos. A maioria das leveduras, aparentemente, converte entre 65 e 80% dos açúcares, mas a atenuação real é menor, considerando que o mosto é convertido em álcool (presente na cerveja), que possui densidade aproximada de 789 kg/m³. Para o cálculo, utiliza-se “OG” (densidade original ou de início de fermentação) e “FG” (densidade final de fermentação) (Equação 1)⁽²⁾.

$$\text{Atenuação}(\%) = \frac{(OG-FG)}{OG} \quad (1)$$

A Massa específica (Equação 2) é definida como a massa “*m*” por unidade de volume “*V*” de uma substância. Basicamente mede o grau de concentração de massa em determinado volume. Aceita-se que a concentração em todo o volume mensurado seja homogêneo. O símbolo para a densidade é “ ρ ” e a unidade SI é quilograma por metro cúbico (kg/m³). A mensuração da massa específica de várias substâncias em um mesmo composto é denominada densidade⁽⁸⁾.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2)$$

A pressão hidrostática (Equação 3), ou pressão estática, é definida pelo o aumento do peso da coluna de fluido com o aumento da profundidade “*h*”, considerando a gravidade “*g*” e a densidade “ ρ ”, alterando a pressão entre os dois pontos “ ΔP ”(9).

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot h \quad (3)$$

Ao imergir um corpo total ou parcialmente em um fluido, uma força é exercida contra com o mesmo módulo do peso do fluido deslocado, propiciando que, quando o corpo consegue deslocar uma quantidade de fluido igual ao seu peso sem imergir totalmente, este flutuará. Na Equação 4, “*Fe*” é força de empuxo, “*mf*” é massa de fluido deslocado, “*g*” é gravidade, “ ρ ” é densidade do fluido deslocado e “*V*” volume do fluido deslocado⁽⁹⁾.

$$Fe = mf \cdot g \quad \text{ou} \quad Fe = \rho f \cdot Vf \cdot g \quad (4)$$

Os mais comuns sensores de pressão para Arduino são da série MPX, que são sensores de pressão de silício monolítico, de elemento único que combinam avançadas técnicas de micromecanização, metalização de filme fino e processamento bipolar para fornecer um sinal de saída analógico preciso e de alto nível que seja proporcional à pressão aplicada, com o intuito de ter uma ampla gama de aplicações⁽⁴⁾.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Com base nas informações extraídas da pesquisa bibliográfica foram utilizados os princípios físicos de pressão hidrostática para confeccionar um equipamento para medição de densidade, com o intuito de atestar o método de obtenção por diferencial de pressão vinculado à temperatura. O medidor registrou um diferencial de potencial ao equiparar as pressões em dois pontos no sentido vertical, com uma distância fixa e conhecida (*h*), e converteu para densidade (corrigido pela temperatura da solução para 20°C). O aparelho, periodicamente, fez reportes automáticos (utilizando a plataforma Arduino), possibilitando a análise.

2.1 Estabelecer método de mensuração de densidade

O método de obtenção da densidade, por meio da diferença de pressão, se baseia na fórmula de pressão hidrostática, onde o diferencial de pressão entre os dois pontos é diretamente proporcional, e considera que, ao tornar a variação da gravidade

extremamente pequena e a altura entre os dois pontos de coleta fixa, a alteração de pressão é diretamente proporcional à alteração da densidade. Sendo assim, foi escolhido o método para captação de dados considerando restrições de processo e repetibilidade de ensaios. Os experimentos consistiram em resfriar o fluido a uma temperatura abaixo dos 2°C e aquecê-lo (em temperatura ambiente) até uma temperatura maior que 21°C. Enquanto o material analisado aquecia, continha alocado em seu interior, dentro da proveta, os tubos de captação de pressão e o sensor de temperatura, que registravam o dado em SD card durante o processo, conforme representado na Figura 1⁽¹⁰⁾.

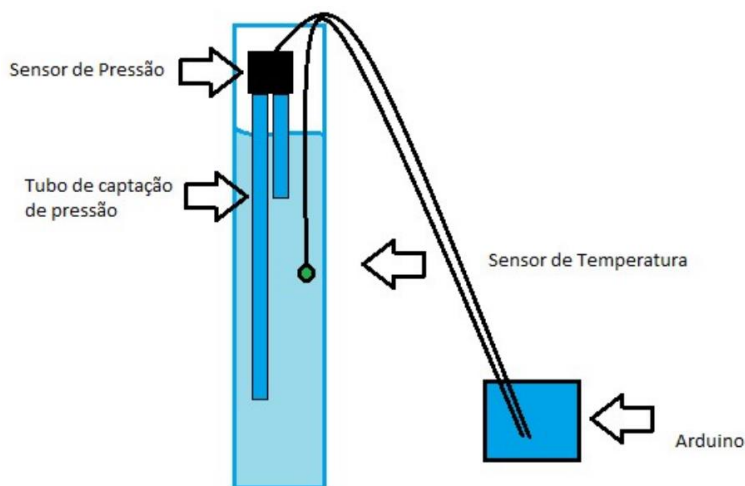


Figura 1. Esboço de Método dos Ensaios.

2.2 Verificar e definir sensores necessários, criar programa e montar equipamento

Conforme as restrições foram estabelecidas, surgiu a necessidade de encontrar os sensores que as contemplavam. O sensor de pressão escolhido foi o “MPXV5004DP” com custo médio de R\$ 90,00. Este apresenta como restrições ser tipo diferencial, possuir um sistema que mede a diferença entre duas fontes de pressão e a pressão estabelecida de 0,3 mH₂O (ou 2,9 kPa). Esse sensor é um transdutor piezoresistivo (quando sujeito a uma pressão mecânica responde com uma polarização que gera a conversão de energia mecânica em energia elétrica), tem como características principais necessárias, para este trabalho, a faixa de pressão de operação de 0 a 3,92 kPa e da temperatura de 0 a 85°C;

2.3 Aplicar ensaios e correlacionar resultados com teoria

Empregaram-se, para os ensaios, três fluidos diferentes: água, álcool e uma mistura entre os dois. Foram executados cinco experimentos: três na água, um no álcool e um na mistura (água e álcool). Foi definido, no início dos ensaios, o zero binário do sensor (290 bits), que deve ser subtraído do valor obtido nos dados de variável binária. As densidades dos fluidos foram tomadas em balança densímetro, com precisão de 0,001 g/cm³, com recipiente de volume fixo na temperatura de 20°C e foram utilizadas para estabelecer o fator de conversão para variável binária para densidade (Tabela 1).

Tabela 1. Densidade dos Fluidos em Balança Densímetro.

Densidade em balança Densímetro - g/cm ³ (20°C)	
Densidade água	0,998
Densidade Mistura	0,937
Densidade Álcool	0,836

2.4 Equacionar compensação de temperatura e fator para conversão de variável binária para estimativa de densidade

Para normalizar os dados de pressão a 20°C e, posteriormente, transformá-los em densidade normalizada, foi necessário encontrar a equação de compensação de temperatura e o fator de multiplicação de pressão para densidade. Foram utilizados, como recursos, balança densímetro, misturas com densidades diferentes para definição do fator multiplicador (variável de proporção entre pressões) e definição de compensação de temperatura, além de recursos particulares.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seção de resultados está estruturada em quatro subitens respeitando as etapas de Materiais e Métodos.

3.1 Estabelecer método de mensuração de densidade por diferencial de pressão

Restrições encontradas para obtenção do método estabelecido:

(1) O sensor de pressão deveria ter a capacidade de diferenciar pressões de duas fontes, sendo um único sensor, tanto para coletar a pressão superior quanto a inferior, visando não replicar o erro intrínseco do equipamento, no caso da utilização de dois sensores, além de estar apto à variação de pressão estabelecida de 0,3 mH₂O (ou 2,9 kPa). A pressão foi escolhida com o intuito de facilitar ensaios e pela possibilidade futura deste estudo poder ser útil para cervejeiros caseiros, que possuem tanques de fermentação menores (com menor coluna de fluido).

(2) A captação de pressão ocorreu por dois tubos, na posição vertical, sendo um maior e outro menor, com uma diferença de 0,3 metros, para evidenciar a diferença de pressão entre as duas tomadas de dados, além de utilizar o ar como meio para medir a diferença, visando não danificar o sensor e, por consequência, a obtenção de dados.

(3) A faixa de temperatura para os testes foi escolhida tomando por base a faixa de temperatura de fermentação mais comumente usada (de 4 à 18°C)⁽²⁾ sendo estabelecida entre 2 à 21°C.

(4) A temperatura de “normalização” de densidade foi definida com as leituras de padrões comumente utilizados na área, de 20°C⁽²⁾.

(5) A os fatores de correção de pressão e temperatura foram estimados nos obtidos pelos ensaios com água, visto que é o componente com maior quantidade na solução.

(6) A captação de dados ocorreu pela média de 20 tomadas de pressão e temperatura com reporte a cada dois segundos.

3.2 Verificar e definir sensores necessários, criar programa e montar equipamento

No caso do sensor de temperatura, optou-se por um que possuísse facilidade de programação, repetibilidade, faixa de atuação de 0 a 25°C e baixo custo. Escolheu-se o sensor termistor NTC 10K 3mm, com custo médio de R\$ 1,00, que já possuía biblioteca para Arduino e apresenta faixa de temperatura de trabalho de -55 a 125°C.

Para montar o equipamento foram necessários alguns materiais, totalizando em torno de R\$ 201,00, com os sensores (Tabela 2).

Tabela 2. Equipamentos e Custo.

Equipamento	Custo médio
Arduino Uno R3	R\$ 40,00
Resistor 10k	R\$ 1,00
Fios	R\$ 5,00
Leitor de Cartão Micro SD	R\$ 35,00
Cartão Micro SD (8 GB)	R\$ 20,00
Mangueiras de PVC (6mm de diâmetro)	R\$ 10,00

Para programação fez-se uso da plataforma Arduino, juntamente com o programa “Arduino.ink”, e algumas bibliotecas, comumente utilizadas, para o sensor de temperatura (termistor NTC 10K 3mm) e o leitor de cartão micro SD.

Para a montagem do hardware do equipamento (ligações elétricas) soldou-se os componentes, garantindo melhor contato elétrico e fixação assegurando uma menor variação das leituras, ver Tabelas 3, 4 e 5:

Tabela 3. Conexões Arduino x MPXV5004DP.

<i>Conexões MPXV5004DP</i>	<i>Conexões Arduino</i>
Pino 2	Porta de alimentação 5V
Pino 3	GND
Pino 4	Porta analógica 2

Tabela 4. Conexões Arduino x Micro SD.

<i>Conexões Micro SD</i>	<i>Conexões Arduino</i>
CS	Porta digital 4
SCK	Porta digital 13
MOSI	Porta digital 10
MISO	Porta digital 12
VCC	Porta digital 9
GND	GND

Tabela 5. Conexões Arduino x Sensor NTC 10K.

<i>Conexões Sensor NTC 10K</i>	<i>Resistor</i>	<i>Conexões Arduino</i>
Pino 1	-	Porta digital 3
Pino 2	Resistor 10k	Porta analógica 0
Pino 2	Resistor 10k	GND

3.3 Aplicar ensaios e correlacionar resultados empíricos com teoria

Como os ensaios foram obtidos com a média de 20 medições por linha, resultaram, em média, 3.500 linhas atribuídas por ensaio. Esses dados foram compilados em uma média reportada por temperatura e organizados na Tabela 6 (ainda sem descontar o zero binário do equipamento).

Tabela 6. Ensaios (Temperatura x Variável Binária).

Temperatura (°C)	Ensaio (variável binária)					
	Ensaio água 1	Ensaio água 2	Ensaio água 3	Média ensaios água	Ensaio mistura 1	Ensaio álcool
2	841	840	841	841	809	753
3	844	842	841	842	811	754
4	841	843	842	842	812	755
5	842	845	844	844	813	756
6	844	847	843	845	815	758
7	843	848	845	845	816	759
8	845	848	846	847	817	760
9	847	849	848	848	819	761
10	848	852	850	850	821	763
11	850	851	852	851	822	764
12	851	851	854	852	824	765
13	853	853	857	854	826	767
14	855	855	860	857	828	769
15	857	857	862	859	829	770
16	859	857	862	859	831	772
17	860	859	863	861	832	773
18	863	862	865	863	834	775
19	864	862	866	864	836	777
20	868	865	868	867	839	780
21	868	867	870	868	838	782

Nota-se que existe diferença de escala entre os dados dos três tipos de fluido, e uma semelhança entre os dados da água, além de sinais de repetibilidade e progressão lógica. Mas conclui-se, também, que não segue uma progressão similar a teórica, de mudança de pressão com alteração da temperatura, pois, teoricamente, a pressão, entre os dois pontos de captação, deveria diminuir com o aumento da temperatura, afinal, a coluna de fluido mantém a mesma altura, com uma massa menor, devido ao espaçamento entre as moléculas provindo do aumento da temperatura, a pressão era pra reduzir e não aumentar (como ocorreu nos cinco ensaios empíricos)⁽⁸⁾.

Por se tratar de uma correlação de variáveis de forma empírica, correlacionou-se neste trabalho a alteração de pressão, registrada pelo sensor de pressão diferencial, e a alteração de temperatura, registrada pelo sensor termistor. Os dados

gerados diferenciam-se dos teóricos por não considerar todas as outras variações do sistema para análise, como variação de temperatura no material do tubo e no ar interno do tubo, que possui um coeficiente de dilatação volumétrica 20 vezes maior que o da água (Tabela 7), podendo ser estas, possíveis divergências entre a teoria e a prática utilizada.

Tabela 7. Dilatação Volumétrica⁽¹¹⁾.

Dilatação teórica	1°C	x maior que da água
Dilatação da água (média)	0,00018	0,0
Dilatação álcool	0,00110	6,1
Dilatação do ar	0,00367	20,4

3.4. Equacionar compensação de temperatura e fator para conversão de variável binária para densidade

Para equacionar a variável binária em função da temperatura, tomou-se o valor retirado em cada temperatura da água e subtraiu-se o valor referente ao da água a 20°C (os valores da variação da água foram escolhidos para obtenção da fórmula de normalização por ser o fluido com maior quantidade na composição da cerveja). Com isso, chegou-se a um gráfico de dispersão com perfil de progressão linear (Figura 2).

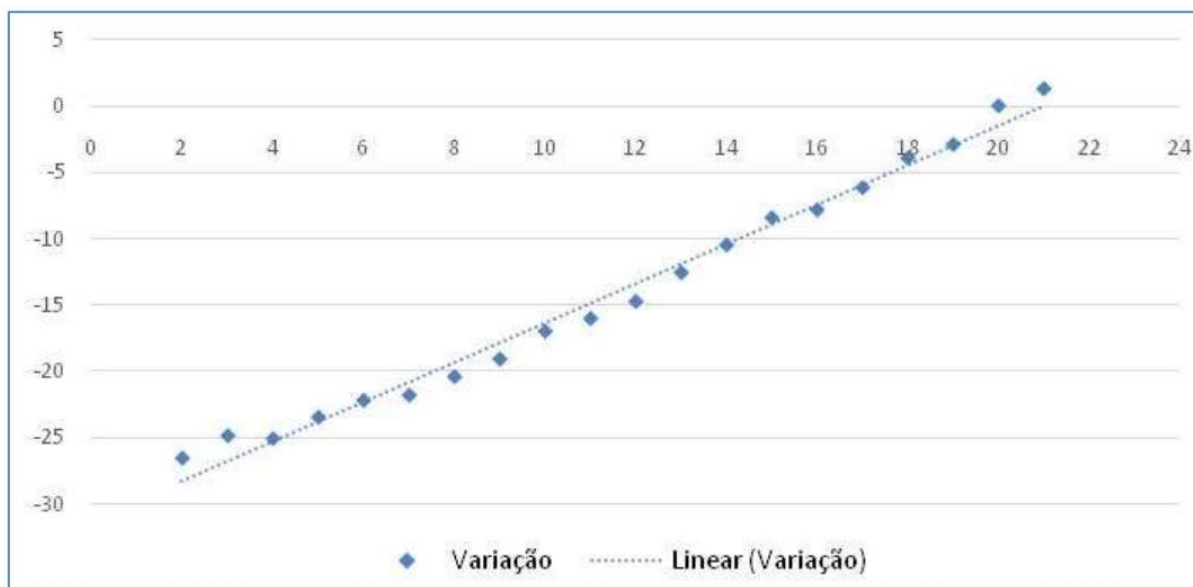


Figura 2. Dispersão da Variável Binária por Temperatura.

Com os dados retirados do gráfico da Figura 2, pode-se equacionar

$$\begin{cases} P(2) = a_1 \cdot 2 + a_0 = -27 \\ P(21) = a_1 \cdot 21 + a_0 = 1 \end{cases}$$

Resolvendo o sistema, obteve-se a equação de compensação de variável binária em função da temperatura:

$$P(x) = 1,4736 x - 29,9472$$

Fez-se uso dos dados de densidades medidos em balança, e se confrontou com os dados provindos do equipamento de variável binária dos itens a 20°C, conforme Equação 5.

$$Fator = \frac{Densidade\ Balança}{(Pressão\ Binária\ 20^{\circ}C - 290)} \quad (5)$$

Após aplicação da Equação 5, obtiveram-se os seguintes fatores (Tabela 8):

Tabela 9. Fatores de Multiplicação.

Material	Densidade em balança g/cm ³ (20°C)	Zero Equipamento	Variável Binária (20 °C)	Fator de Multiplicação
Água	0,998	290	867	0,001729
Mistura	0,937	290	839	0,001708
Álcool	0,836	290	780	0,001706

Como verificado na Tabela 8, os fatores de multiplicação são muito parecidos, mostrando, novamente, estabilidade e repetibilidade do equipamento nos ensaios. Assumiu-se o fator de multiplicação da água para normalização dos dados (0,001729). Ao confrontar os dados normalizados com as densidades pesadas chega-se ao seguinte gráfico (Figura 3).

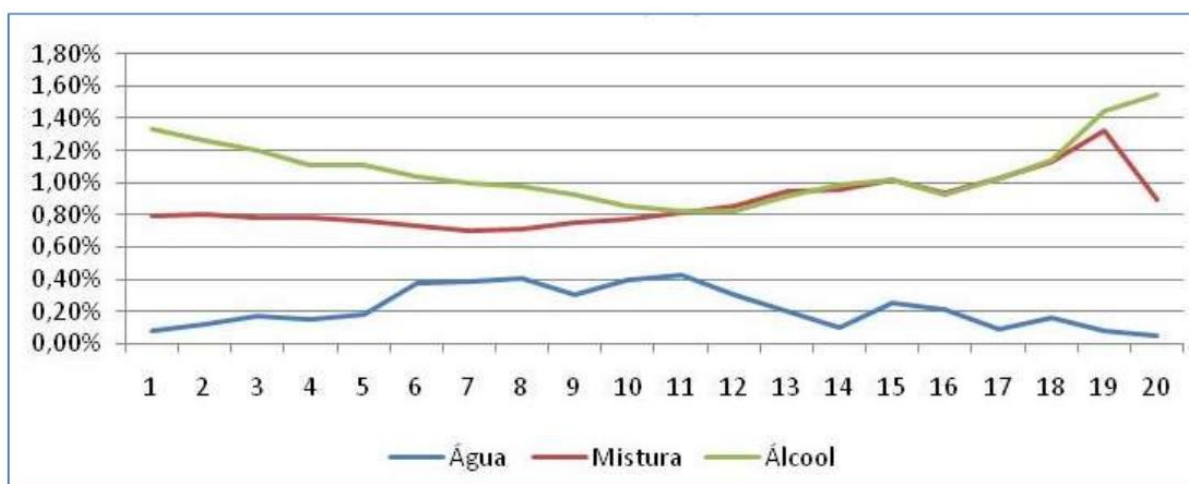


Figura 3. Variação Percentual entre Densidades Verificadas em Balança (20°C) e Densidade Normalizada Obtidas por Equipamento

Analisando o gráfico da Figura 3, nota-se que, em um mesmo material, a amplitude de variação é de 0,006 g/cm³ além de a variação percentual do valor não ser maior que 1,6% da densidade e balança. Essa variação está acima da variação

encontrada no densímetro por diferencial de pressão⁽¹⁰⁾ com amplitude de exatidão descrita como $0,0008\text{g/cm}^3$.

Conforme foi mencionado, as obtenções do fator multiplicador e da equação de compensação por temperatura estão diretamente vinculadas a uma temperatura específica (20°C), caso tenha que ser alterada a temperatura de normalização para análise de dados, é necessário refazer tanto a equação de compensação quanto o fator de multiplicação para temperatura requisitada, tornando possível a utilização desse método para outras vertentes de materiais e necessidades. Existe uma diferença notável com relação à exatidão, comparada ao sensor de mercado de escala industrial, mas seu baixo custo para montagem dos ensaios e a possibilidade de controle contínuo para produtores de pequena escala torna o estudo e possível produção viáveis.

4 CONCLUSÃO

Ao produzir cerveja, busca-se controle de alterações e repetibilidade de processo visando à reprodução de receitas que contenham as mesmas características. A obtenção de dados que auxiliem e sirvam de suporte para tomadas de decisão são essenciais. Segundo estimativa, somente com a verificação de densidade (ignorando lotes com defeito descartados por monitoramento inadequado dessa variável) é gasto mais de 1.000.000 de litros de cerveja⁽¹⁾.

Conforme necessidades e restrições levantadas, optou-se pelo sensor de pressão “MPXV5004DP”, com a faixa de pressão de trabalho de 0 a 3,92 kPa e a temperatura de operação de 0 a 85°C , custo médio de R\$ 90,00 e pelo sensor termistor NTC 10K 3mm, com custo médio de R\$ 1,00, que já possuía biblioteca para Arduino e tem como temperatura de trabalho de -55 a 125°C . Custo do equipamento para teste foi de R\$ 201,00.

Ao realizar os ensaios, esperava-se que, com o aumento da temperatura, ocorresse a redução da pressão, visto que a quantidade de massa na coluna medida seria menor, mas aconteceu o inverso com o aumento da temperatura verificou-se o aumento da pressão. Esse fato pode estar relacionado as várias variáveis abordadas de forma empírica, como expansão volumétrica diferente entre água e ar (que chega a 20 vezes o da água).

Ao analisar os gráficos de variações em densidade e em percentual, nota-se que, em um mesmo material, a amplitude de variação é de $0,006\text{g/cm}^3$, além da variação percentual do valor não ser maior que 1,6% da densidade e balança, acima da variação encontrada no densímetro por diferencial de pressão⁽¹⁰⁾ com amplitude de exatidão descrita como $0,0008\text{g/cm}^3$. Apesar de a precisão ser 7,5 vezes menor que o densímetro⁽¹⁰⁾, os resultados foram satisfatórios, por utilizar o ar como fluido para medição.

Considerando os resultados, verificou-se que é possível a obtenção de dados utilizando o método por diferencial de pressão, de forma contínua, com um valor de custo baixo para montagem, por ser comparável aos valores de um densímetro de empuxo ou refratômetro atualmente utilizados, com uma precisão aceitável para verificação de variação de densidade, sem gasto de produto para sua análise.

REFERÊNCIAS

- 1 INSTITUTO da Cerveja Brasil. Instituto da Cerveja Brasil, 2017. Disponível em: <<https://www.institutodacerveja.com.br>>. Acesso em: 11 out. 2017.
- 2 PALMER, J. J. How to Brew - Everything You Need To Know To Brew Beer Right The First Time. 3a Edição. ed. [S.l.]: Brewers Publications, 2006.
- 3 IN, R. -. <http://www.investimentosenoticias.com.br>. Investimentos e Notícias, 2017. Disponível em: <<http://www.investimentosenoticias.com.br/noticias/negocios/expansao-da-cultura-faca-voce-mesmo-aquece-o-mercado-das-cervejas>>. Acesso em: 1 jun. 2018.
- 4 MCROBERTS, M. Arduino Básico. São Paulo: Novatec, 2011.
- 5 ARNOLD, J. P. Origin and History of Beer and Brewing: From Prehistoric Times to the Beginning of Brewing Science and Technology. Cleveland: BeerBooks, 2005.
- 6 ZAINASHEFF, C. W. W. J. Yest - The Practical Guide to Beer Fermentation. Boulder: Brewers Association, 2010.
- 7 PROLAB. prolab - Materiais para Laboratórios, 2014. Disponível em: <<http://www.prolab.com.br/blog/o-que-e-e-como-funciona-o-densimetro/>>. Acesso em: 05 nov. 2017.
- 8 HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Halliday/Resnick Fundamentos de Física. 8a. ed. Rio de Janeiro: REDBSTYLE, v. Volume 2: Gravitação Ondas e Termodinâmica, 2009.
- 9 FOX, R. W.; MCDONALD, A. T. INTRODUÇÃO A MECÂNICA DOS FLUIDOS. Rio de Janeiro: LTC, 2001.
- 10 SMAR. SMAR. <http://www.smar.com/>, 2010. Disponível em: <<http://www.smar.com/newsletter/marketing/index39.html>>. Acesso em: 11 jun. 2018.
- 11 BORBA, A. J. G. A. www.webcalc.com.br. Webcalc, 2018. Disponível em: <http://www.webcalc.com.br/engenharia/dilat_gama.html>. Acesso em: 11 jun. 2018.

UTILIZAÇÃO DE PEQUENOS AEROGERADORES NA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELETRICA

Bitencourt, S.D.¹, Dias, M.M.², Aquim, P.M.³, Martins, R.M.⁴, Moura, A.B.D.⁵, Cezar, J.L.⁶, Verney, J.C.K.⁷, Gertz, L.C.⁸, Martins, V.⁹, Borba, M.G.¹⁰

- ¹ Dr. Eng. Metalúrgica, Sérgio Deitos Bitencourt, UFRGS / LdTM
- ² Dr. Eng, Metalúrgica, Moisés de Mattos Dias, Prof. Eng. Eletrônica e Mestrado em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais, ICET, Universidade Feevale
- ³ Dra. Eng, Química, Patrice Monteiro de Aquim, Profa. Eng. Química e Mestrado em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais, ICET, Universidade Feevale
- ⁴ Dr. Química, Ricardo Martins de Martins, Prof. Eng. Química e Mestrado em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais, ICET, Universidade Feevale
- ⁵ Dra. Eng, Mecânica, Ângela Beatrice Dewes Moura, Profa. Eng. Mecânica e Mestrado em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais, ICET, Universidade Feevale.
- ⁶ Dr. Eng, Metalúrgica, José Lesina Cezar, Prof. Eng. Mecânica e Mestrado em Engenharia de Materiais e Processos Sustentáveis. ULBRA-RS
- ⁷ Dr. Eng, Metalúrgica, José Carlos Krause de Verney, Prof. Eng. Mecânica e Mestrado em Engenharia de Materiais e Processos Sustentáveis. ULBRA-RS
- ⁸ Dr. Eng, Mecânica, Luis Carlos Gertz, Prof. Eng. Mecânica e Mestrado em Engenharia de Materiais e Processos Sustentáveis. ULBRA-RS
- ⁹ Dr. Eng. Metalúrgica, Vinícius Martins, Prof. IFSul-Sapucaia
- ¹⁰ Doutorando Eng. Metalúrgica, Monir Gorthel Borba, PPG3M / LdTM / UFRGS

Resumo: Este artigo tem como objetivo o estudo da aplicação de pequenos aerogeradores na matriz energética brasileira. O artigo apresenta uma revisão sobre os tipos de aerogeradores mais utilizados e as aplicações de pequenos aerogeradores em sistemas isolados e ligados a rede de distribuição de energia elétrica. Ainda, apresenta as dificuldades para a instalação de pequenos aerogeradores autoprodutores, que em muito poderiam contribuir para a disseminação desses equipamentos no Brasil.

Palavras-chave: pequenas turbinas eólicas, sistemas isolados, potência instalada,

USAGE OF SMALL WIND POWERS IN THE PRODUCTION OF ELECTRICAL ENERGY

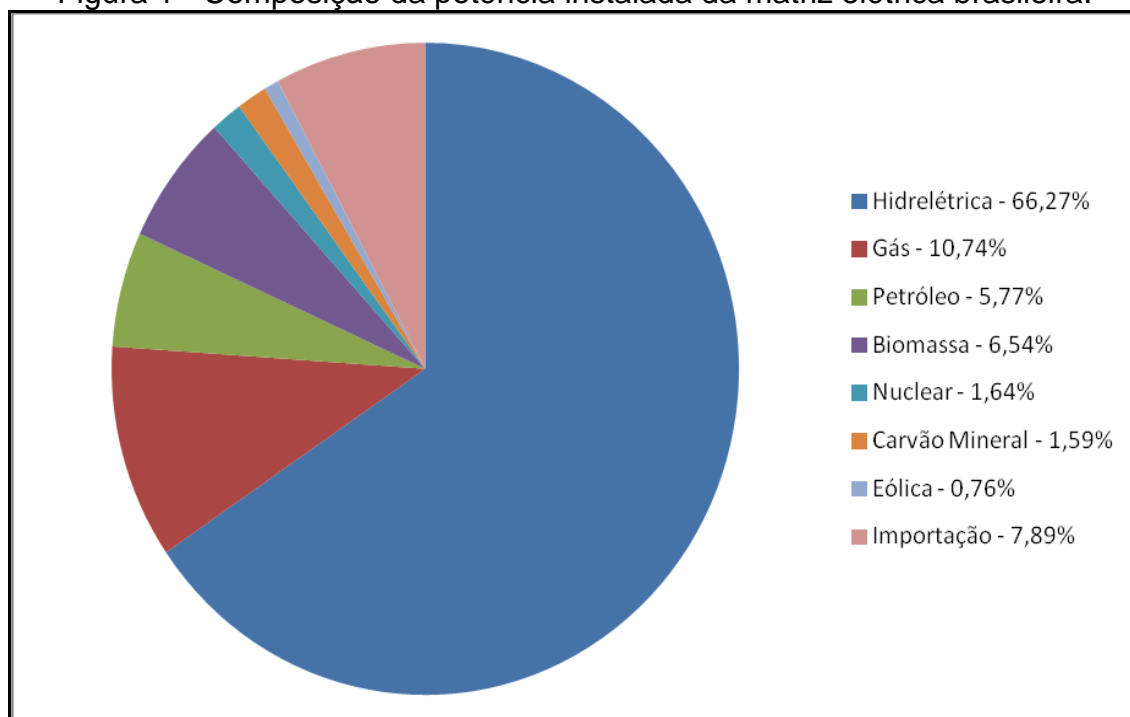
Abstract: The objective of this article is the study of the application of small wind turbines in the energy industry in Brazil. This work presents an overview of different types of most used wind turbines and the application of small wind turbines in isolated systems within the electrical energy distribution net. It also explores the evolution of Brazil's as well as worldwide installed power capacity. Furthermore, this article shows today's challenges on installing self-efficient mini wind turbines, which in the contrary, could very well also contribute to the diffusion of these equipment in Brazil.

Keywords: small wind turbines; isolated systems, installed power capacity.

1. Introdução

Até a década passada, mais de 90% da potência instalada no Brasil provinha de fonte hidrelétrica. Hoje, o percentual é da ordem de 66%, o que mostra uma diversificação da matriz elétrica brasileira, não apenas pelo intuito de se ter uma maior variedade de fontes de energia, mas também pela exaustão do sistema das grandes hidrelétricas (OLIVEIRA, 2011). A Figura 1 apresenta a matriz energética brasileira em potência instalada (VALENÇA, 2010).

Figura 1 - Composição da potência instalada da matriz elétrica brasileira.



Fonte: VALENÇA, 2010.

A água doce e a energia são os dois principais recursos da atividade humana para uma razoável e sustentável qualidade de vida. A energia desempenha um papel fundamental para a realização dos objetivos ligados ao desenvolvimento humano sustentável nos campos econômico, social e ambiental. Sem uma fonte de energia aproveitável, nenhuma atividade humana pode evoluir (MELO, 2009).

O crescimento populacional provocará um aumento na demanda energética nas próximas décadas. A população mundial cresce atualmente a uma taxa de 2% ao ano e exerce uma pressão adicional sobre as limitadas fontes de energia que constituem a atual matriz energética (SEN, 2008).

A maior parte da energia utilizada pela humanidade é oriunda dos combustíveis fósseis, constituída principalmente pelo petróleo, gás natural e o carvão. A atual matriz energética mundial, sustentada nos combustíveis fósseis, está levando ao aumento da temperatura terrestre através do efeito estufa provocado pelos gases emitidos por sua queima (MELO, 2009).

Os desafios da sociedade são buscar novas fontes de energia para atender à crescente demanda e reduzir a emissão dos gases causadores do efeito estufa, com o propósito de diminuir os efeitos do aquecimento global. Para que esses desafios sejam alcançados se faz necessária a alteração da matriz energética mundial, centrada em combustíveis fósseis, migrando para as fontes de energias limpas e renováveis (MELO, 2009).

A utilização da energia eólica para a geração de energia elétrica tem para o meio ambiente, vários aspectos positivos que superam os efeitos negativos, estando enquadrada no grupo das energias limpas. A principal característica da energia limpa é sua baixa ou nenhuma emissão de gás carbônico e metano na atmosfera (KERR, 2002).

2. Utilização da energia eólica

Apontada como uma energia cuja geração é de baixo impacto ambiental, a energia eólica permite a utilização conectada à rede ou em locais remotos, onde os custos de transmissão pela concessionária são altos. Esta tecnologia desempenha papel principal nas fontes alternativas para a geração de energia elétrica. Entre 2006 e 2009, a capacidade instalada de energia eólica no mundo cresceu 114%. Neste mesmo período, a capacidade instalada brasileira apresentou um crescimento de 156% (VALENÇA, 2010).

A energia eólica vem crescendo em todo o mundo, sendo que a Ásia é o mercado regional mundial de maior crescimento. Em 2010, a China alavancou o crescimento da energia eólica global. Instalou-se 16,5 GW em usinas, o que leva os chineses a contarem com 42,3 GW (cerca de 46% dos novos parques instalados mundialmente). A tabela 1 mostra os dez países com novas capacidades instaladas no ano de 2010 (OLIVEIRA, 2011):

Tabela 1 - Os dez países com novas capacidades instaladas em 2010.

País	MW	%
China	16.500	46,1
EUA	5.115	14,3
Índia	2.139	6
Espanha	1.516	4,2
Alemanha	1.493	4,2
França	1.086	3
Reino Unido	962	2,7
Itália	948	2,6
Canadá	690	1,9
Suécia	603	1,7
Resto do Mundo	4.750	13,3
Total	35.802	100

Fonte: OLIVEIRA, 2011.

O mercado eólico brasileiro cresceu 326 MW em 2010, elevando a capacidade total instalada de até 931 MW, um crescimento de 54,2% em termos de capacidade total instalada e um aumento de 23,8% em termos de adições de capacidade anual (OLIVEIRA, 2011). Em 2011, a capacidade instalada de energia eólica no Brasil aumentou 62%, com acréscimo de cerca de 600 MW, atingindo 1,5 GW. Neste mesmo ano, no mundo, a capacidade instalada de energia eólica cresceu 21%, passando de 197.000 para 238.000 MW (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2014).

As instalações eólicas preservam o local onde estão estabelecidas em razão do baixo impacto no meio ambiente e nas atividades econômicas existentes. Uma turbina eólica, além do seu custo de instalação, não apresenta gastos adicionais na aquisição de combustível para a produção de energia elétrica. O seu combustível é o vento. Deste modo, o custo da energia elétrica produzida fica inalterada, exceto pelos pequenos acréscimos decorrentes dos custos de manutenção, não sofrendo, portanto, os reflexos negativos das turbulências políticas da economia mundial (MELO, 2009).

O valor do custo de geração de energia por fontes não renováveis como carvão e gás tem aumentado nos últimos anos. As fontes renováveis têm seguido o rumo inverso, com uma brusca queda no custo de sua produção (KERR, 2002). Todas as regiões brasileiras possuem potencial para o aproveitamento eólico, o que

abre possibilidade para o seu aproveitamento através de sistemas de geração de energia elétrica de pequena escala (SOVERNIGO, 2009).

A utilização de pequenas turbinas eólicas atende o princípio da geração descentralizada, que é uma forma estratégica de se instalar pequenas unidades geradoras próximas aos consumidores (WEGLEY et al., 1980). Apesar do seu grande potencial eólico, não existe no Brasil mecanismo incentivador que venha a facilitar o emprego dessa fonte de energia, com o uso de pequenos aerogeradores autoprodutores, que em muito poderiam contribuir para a disseminação desses equipamentos no Brasil. Existem poucas indústrias de aerogeradores de pequeno porte instaladas no território nacional e até 2,5 milhões de domicílios sem energia elétrica (VALENÇA, 2010).

3. Tipos de Aerogeradores

O aerogerador é uma máquina que retira parte da energia cinética do vento e transforma em energia mecânica e posteriormente em energia elétrica (KERR, 2002). As turbinas eólicas utilizadas para capturar a energia do vento, podem ser classificadas de acordo com os seguintes aspectos construtivos (SAS ENERGIA, 2014):

a - com relação ao eixo do rotor e a direção do vento, podem ser paralelas ao vento e perpendiculares ao vento;

b - com relação ao fator de propulsão dominante, podem ser os componentes da resultante aerodinâmica de sustentação ou de arrasto. Os modernos aerogeradores de eixo horizontal utilizados para a produção de energia elétrica usam a força de sustentação produzida pelo efeito do formato aerodinâmico das pás, em sua interação com os fluxos dos ventos;

c - com relação ao tamanho e/ou potência nominal extraída, é usual classificar os aerogeradores em micro, pequenos, médios e grandes, dependendo do diâmetro do seu rotor ou da sua potência.

d - com relação a sua orientação em relação ao solo (Figura 2), podem ser classificadas em eixo vertical e eixo horizontal;

Figura 2 - Turbina de vento - eixo vertical e horizontal, respectivamente.



Fonte: (SAS ENERGIA, 2014).

A Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL classifica como aerogerador de pequeno porte máquinas eólicas geradoras com potência nominal igual ou inferior a 500 kW. A seleção e aplicação de aerogeradores de pequeno porte para geração de energia elétrica constituem-se numa alternativa tecnológica ainda muito pouco utilizada no Brasil. Através de uma análise comparativa entre o custo do kWh gerado por um pequeno aerogerador com o de um de grande porte pode-se constatar que os mercados potenciais a serem ocupados por elas são distintos, ou seja, enquanto a energia gerada pelo de grande porte seria direcionada para venda às concessionárias àquela gerada pelos de pequeno porte atuaria no segmento de autoprodução, resultando numa diminuição da pressão de demanda de compra de energia da concessionária (SEN, 2008).

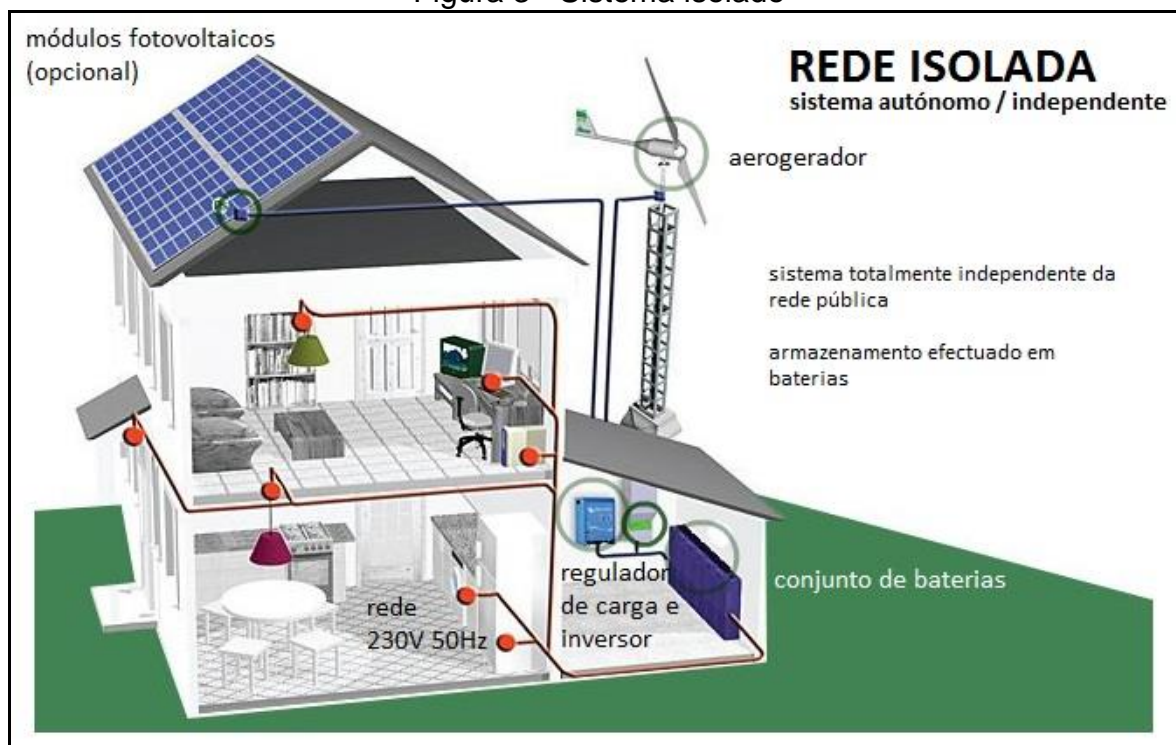
4. Sistemas de geração de energia

Os sistemas de turbinas eólicas utilizadas na produção de eletricidade são classificados como sistema isolado e sistema conectado à rede. No sistema isolado os aerogeradores produzem energia elétrica que são armazenadas em bancos de baterias e então utilizando inversores elétricos são convertidas para a tensão e frequência recomendada pelos equipamentos utilizados. Os sistemas isolados são recomendados para áreas remotas, não servidas pela rede elétrica das distribuidoras e algumas situações específicas. A sua aplicação é limitada e recomendada para as pequenas aplicações elétricas (ARAÚJO, 2009).

O sistema conectado à rede é aquele no qual a energia produzida pelo aerogerador é diretamente lançada na rede de distribuição de energia elétrica. Em locais já servidos pela rede de distribuição o sistema eólico recomendado é o conectado à rede, tendo o seu custo inicial e de manutenção bastante reduzidos pela não utilização de baterias estacionárias, de custo elevado (ARAÚJO, 2009).

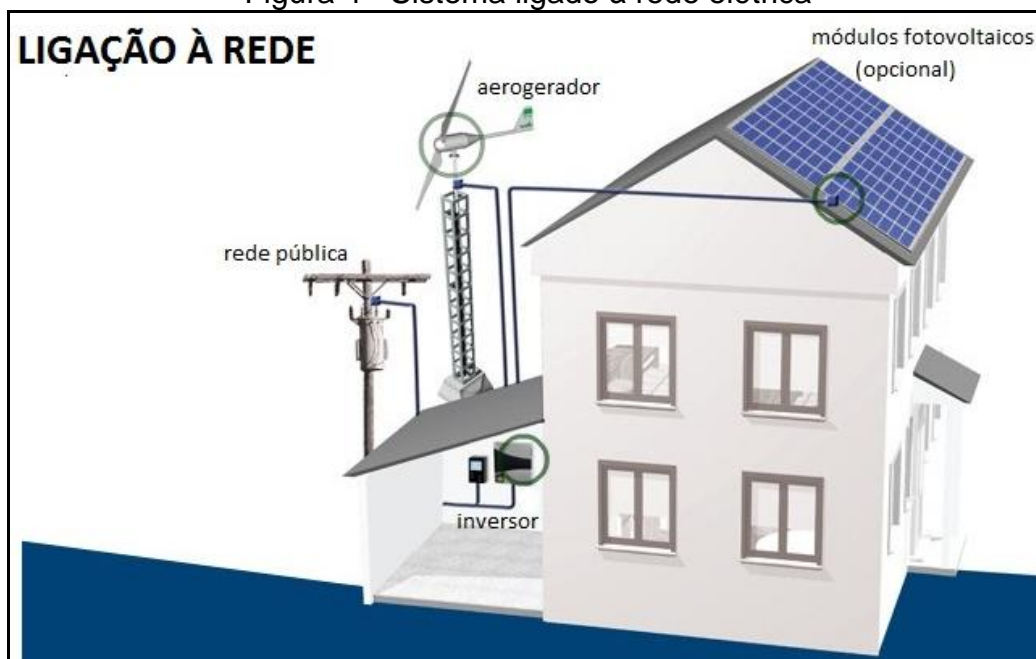
As Figuras 3 e 4 exemplificam a aplicação em sistemas isolados e ligados à rede distribuidora de energia elétrica (SAS ENERGIA, 2014):

Figura 3 - Sistema isolado



Fonte: (SAS ENERGIA, 2014)

Figura 4 - Sistema ligado à rede elétrica



Fonte: (SAS ENERGIA, 2014)

5. Conclusões

No Brasil se desconhece programas de incentivo para utilização de pequenos aerogeradores na geração de energia elétrica, seja no campo de financiamento, por instituições financeiras de fomento ou através de políticas governamentais via ministérios e agência reguladora.

A geração de energia elétrica próxima a locais isolados é benéfica para o aumento da confiabilidade e estabilidade dos sistemas de transmissão e de distribuição, contribuindo para reduzir perdas e aumentar a oferta de energia elétrica.

No campo da regulação por parte da ANEEL, torna-se necessária a simplificação dos procedimentos exigidos para instalação dos equipamentos, bem como, isenções de taxas que são aplicadas independentemente do tamanho da turbina eólica.

A garantia aos fabricantes nacionais da manutenção do mercado interno, com incentivos aos pequenos autoprodutores levará ao surgimento de uma indústria de pequenos aerogeradores, gerando empregos e novas tecnologias.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES e ao CNPq pela bolsa e financiamento do projeto

Referências

OLIVEIRA, O. D. Q. **Uma metodologia simplificada para estimativa do aproveitamento eólico offshore no litoral brasileiro estudo de caso: a ilha de Itamaracá/PE.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Recife, 2011.

Valença, D. A. A. **Proposição de uma metodologia para a avaliação do aproveitamento da energia eólica em ambiente urbano.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Recife, 2010.

Melo, G. M. **Um estudo da viabilidade de pequenos aerogeradores na produção de energia elétrica.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Recife, 2009.

SEN, Z. **Solar energy fundamentals and modeling techniques: atmosphere, environment, climate change and renewable energy**, ed. Springer, pp. 276, 2008.

KERR, T. **A new method for calculating the environmental benefits of clean energy: environmental benefits of clean energy technologies.** National Renewable Energy Laboratory - NREL, 2002.

<http://www.aneel.gov.br/>, acessado em 10/07/2014.

SOVERNIGO, M. H. **Impacto dos aerogeradores sobre a avifauna e quiropterofauna no Brasil.** Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Biológicas, Departamento de Ecologia e Zoologia, Florianópolis, 2009.

WEGLEY, H. L. et al. **A Siting Handbook for Small Wind Energy Conversion Systems.** Pacific Northwest Laboratory, U.S. Department of Energy, Battelle Memorial Institute, 1980.

<http://www.sasenergia.pt/>, acessado em 12/07/2014.

ARAÚJO, A. M. et al. **Simulación de la Producción de Energía Eléctrica con Aerogeneradores de Pequeño Tamaño.** Información Tecnológica, v. 20, n. 3, 2009.

USO DE INDICADORES APLICADOS PARA A GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Piovezan, A. A.¹

Ávila, G. C.²

Dutra, W.T.³

Campani, D. B.⁴

Tubino, R. M. C.⁵

¹ Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais-PPGE3M, Andressa Aparecida Piovezan, Universidade Federal do Rio Grande do Sul e andressapiovezan@hotmail.com.

² Graduando em Engenharia Ambiental, Gabriel Cardoso Ávila, UFRGS, gabrielc.avila@hotmail.com.br

³ M.Sc. Eng. Metalúrgico, William Todendi Dutra, Universidade Federal do Rio Grande do Sul e william.dutra@ufrgs.br

⁴ Doutor em Engenharia, Darci Barnech Campani, Universidade Federal do Rio Grande do Sul e campani@ufrgs.br

⁵ Prof. Dra. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais-PPGE3M/UFRGS e rejane.tubino@ufrgs.br.

Resumo

Indicadores utilizados para a gestão de resíduos sólidos permitem analisar, monitorar e acompanhar os Planos de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PGIRS), tanto na esfera municipal, estadual, federal e também de empresas privadas de diversos ramos que carecem de instrumentos de mensuração e avaliação. Obter informações e dados através dos indicadores é de suma importância para observar a evolução entre o cenário atual, seus avanços e o quanto se aproxima do cenário futuro projetado. Um indicador é considerado uma variável, instrumento, parâmetro e/ou uma medida. Na maioria das vezes, essa medida é quantitativa, onde possui vantagens por ser simples, de fácil entendimento, em que podem incluir vários fatores/aspectos, como sociais, econômicos e ambientais, entre outros. Então, para a elaboração de um plano de monitoramento gerencial, são necessários indicadores eficazes, para isto, se faz necessário analisar vários critérios, como: atendimento às necessidades, confiabilidade, objetividade, rastreabilidade e compatibilidade. Porém, por vez, possui desvantagens se elaborado de uma forma com excesso de agregação de dados, dando ênfase ao que é fácil ao invés do que é importante. Cabe ressaltar que, indicadores devem ser números inteligentes, que permitam ao gestor tomar decisões, permitindo que ações sejam tomadas para a correção de rumos, permitindo ao gestor ter a certeza de se aproximar do cenário aprovado no seu planejamento. Também devem permitir que na formulação de políticas públicas, permitam a gestão de metas a serem alcançadas, mensurando o resultado das ações realizadas muito além do que seus números expressam.

Palavras-chave: Indicadores; Resíduos Sólidos; Planos de Gestão de Resíduos Sólidos.

Abstract

Indicators used for solid waste management allow the analysis, monitoring and follow-up of the Integrated Solid Waste Management Plans (ISWMP), at the municipal, state and federal levels, as well as private companies in various sectors that have a lack on measurement and evaluation tools. Getting information and data through the indicators has a great importance to observe the evolution between the current scenario, its advances and how close it is to the projected future scenario. An indicator is considered a variable, a tool, a parameter and/or a measure. Most of the time, this measure is quantitative, where it has advantages because is simple, easy to understand, and can include several aspects, such as social, economic and environmental, among others. Therefore, for the elaboration of a management monitoring plan, effective indicators are necessary, so it is fundamental to analyze several criteria, such as the meeting of the needs, reliability, objectivity, traceability and compatibility. But, at the same time, it has drawbacks in an overly aggregated form of data, emphasizing what is easy rather than what is important. It is worth noting that, indicators should be smart numbers, which allow decision making, allowing the correction of directions, thus enabling the manager to be sure to approach the scenario objectified in the initial planning. They should also allow the formulation of public policies, allowing the management of goals to be achieved, measuring the results of actions carried out far beyond what their numbers express.

Keywords: Indicators; Solid Waste; Solid Waste Management Plans.

INTRODUÇÃO

Quando são implantadas estratégias visando o alcance de um objetivo, necessita-se de indicadores para que ocorra uma mensuração quantitativa e avaliativa adequada de acompanhamento entre essas fases.

O termo “indicador” originou-se do latim *indicare*, cujo significado significa: anunciar, tornar público, estimar (VAN BELLEN, 2004)⁽¹⁾. Mas... quando surgiu a necessidade de uso dos indicadores? Surgiu com as novas demandas de avaliação dos processos.

O **objetivo** de um indicador é quantificar, analisar, simplificar e comunicar resultados, tornando-os compressíveis para diversos segmentos interessados no assunto. Como **resultado** é possível obter sínteses de informações através do acompanhamento e monitoramento.

E em relação às **considerações finais** de todo estudo/processo com o uso de indicadores é possível saber se foi obtido o alcance esperado ou não de uma meta/ação estipulada ou se o padrão mínimo de desempenho estabelecido foi alcançado, caso contrário, se nenhuma meta/ação foi atingida, serve também para identificar as possíveis causas para esse não cumprimento, auxiliando assim a melhoria do processo e as tomadas de decisões.

A gestão de resíduos sólidos, os Planos de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PGIRS) e indicadores, são assuntos interligados, pois para acontecer uma eficiente gestão em uma empresa ou processo é de suma importância ter indicadores para avaliar suas ações, como por exemplo, uma ação da empresa é conter um Plano de Gerenciamento de seus resíduos, que por sua vez, é considerado um indicador nas ações da mesma. Vale ressaltar que, os indicadores devem estar presentes nos Planos de Gestão de Resíduos Sólidos (PGRS).

OBJETIVOS

Objetivo geral

- Relatar o papel dos indicadores na gestão de resíduos sólidos, bem como suas etapas de medições e passos para a construção de indicadores.

METODOLOGIA

Quando se estuda um assunto, pode-se encontrar resultados diferentes e/ou contraditórios, assim surge a necessidade de pesquisar estudos com alta relevância na área estudada. A revisão sistemática da literatura, inicialmente se difundiu dentro do contexto das ciências médicas, atualmente ela é difundida em diversas áreas. É considerado um estudo secundário, que veio a calhar por ser uma investigação abrangente que sintetiza ideias de qualidade, tornando-se um meio para o desenvolvimento de pesquisas científicas (WEBSTER; WATSON, 2002⁽²⁾; AFONSO ET AL., 2011⁽³⁾; GOHR ET AL., 2013⁽⁴⁾; GALVÃO; PEREIRA, 2014⁽⁵⁾).

O delineamento escolhido para o presente estudo foi a revisão integrativa, onde é expressada a opinião do próprio autor, além dos demais autores consultados⁽⁵⁾, totalizando o uso de 12 artigos.. A Figura 1 apresenta os passos para elaborar uma revisão sistemática da literatura.

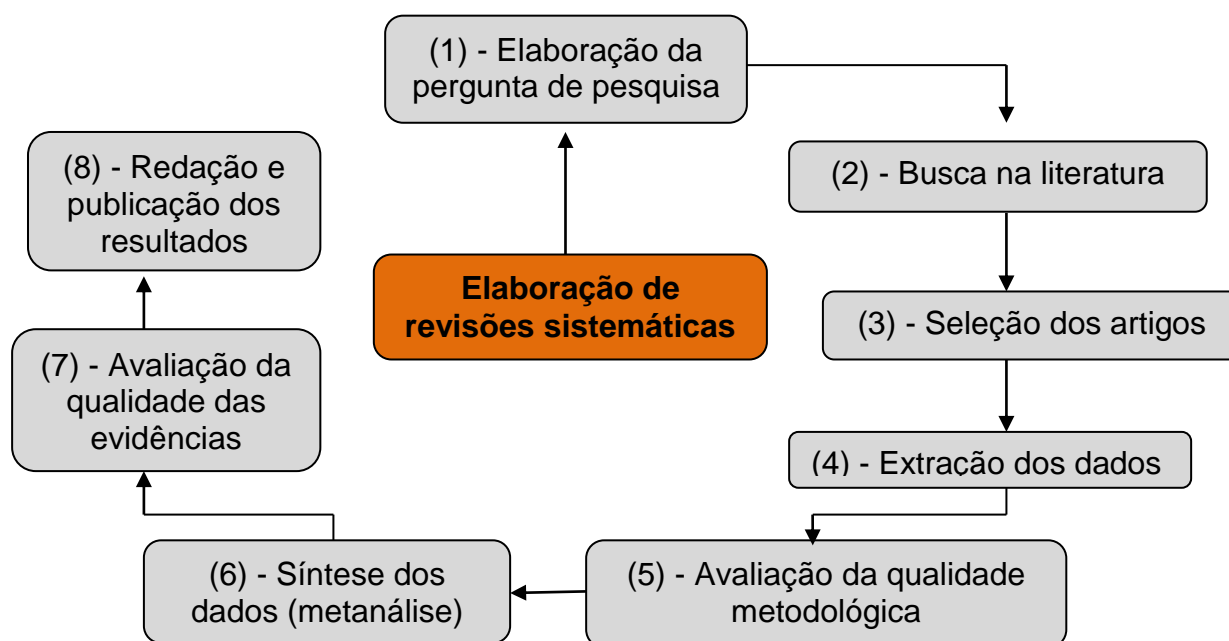


Figura 1. Oito (8) passos para elaboração de revisões sistemáticas da literatura
Fonte: Adaptação de GALVÃO; PEREIRA (2014).

RESULTADOS

Indicadores de desempenho são expressões quali-quantitativas de um processo em relação a sua eficiência, eficácia ou nível de satisfação com a finalidade de acompanhar a evolução do processo ao longo do tempo. São muito usados para comparações entre organizações, porém, para que essa comparação seja mais confiável, há a necessidade de se estabelecer um sistema de indicadores, pois nem sempre um parâmetro pode representar a complexidade do que está sendo analisado, mas sim um conjunto com informações que se complementam. ⁽⁶⁾

Os indicadores de desempenho ambiental são valores que expressam um grande número de informações a respeito de impactos ambientais e recursos naturais, em uma menor quantidade de dados, com o intuito de facilitar a leitura para todos os segmentos da sociedade. Tais parâmetros ajudam gestores a tomar decisões mais eficientes e definir as metas de forma mais realística. ⁽⁸⁾

Além dos objetivos supracitados, existem muitos outros objetivos na implementação de indicadores na esfera ambiental. Esse conjunto de aplicações são de grande valia para o funcionamento de uma organização, pois os dados de indicadores visam ilustrar melhorias ocorridas, potenciais melhorias e o monitoramento dos processos. A realização de relatórios ambientais, ações de produção mais limpa, PGRS e Sistemas de Gestão Ambiental. ⁽⁸⁾

As aplicações desses parâmetros ganham força sempre que a organização busca o desenvolvimento sustentável, se preocupando com o aspecto ambiental de suas atividades. Sendo assim, uma rede de indicadores intermediários simples ou compostos no processo (classificados como indicadores sistêmicos) é de suma importância para a geração de indicadores de finais de processo, adquirindo uma grande rastreabilidade dos impactos, positivos ou negativos, durante toda a atividade. ⁽⁹⁾

Aplicando à Gestão Pública, no que tange o meio ambiente, o que Caridade *apud* Lages & França⁽⁷⁾ escreve, os indicadores têm por objetivo expressar de forma numérica os resultados prévios ou finais de alguma atividade, buscando sempre:

- Melhor desempenho de seus produtos ou serviços: indicadores demonstram se a necessidade dos favorecidos foi atendida, a confiabilidade assegurada e a transparência prestada;
- Melhoria contínua dos processos: indicadores endossam a prática da melhoria contínua já que eles podem identificar potenciais áreas deficitárias com mais facilidade, possibilitando a ação eficaz dos gestores.
- Redução de prejuízos: esse objetivo é fundamental para a manutenção sustentável de um plano de ações. Sabendo que um sistema de gestão incompleto pode provocar perda de recursos, utilizar indicadores adequados é uma boa alternativa para a melhoria do funcionamento das atividades.
- Desempenho de macroprocessos: verifica o funcionamento ao longo dos níveis hierárquicos da organização ou do fluxo de processos, por meio de tarefas multifuncionais.

Há diferentes tipos de indicadores, sendo um deles os Indicadores de Sustentabilidade. Polaz & Teixeira⁽¹⁰⁾, em seu estudo de caso, abordam sobre indicadores de sustentabilidade – que são divididos em dimensões, sendo que a primeira é a esfera ambiental – para melhor gerenciar os resíduos sólidos urbanos (RSU). Primeiramente é necessário evidenciar os problemas gerais para a gestão de RSU, como: quais são os impactos ambientais ligados aos resíduos, licenciamentos ambientais e recursos naturais. Os temas que guiam a implementação de indicadores podem variar de acordo com o ideário de cada gestor. São os gestores que apontam quais as diretrizes que irão determinar onde os indicadores são necessários, portanto um bom sistema de indicadores começa na sensibilização ambiental da alta direção para que se alcancem indicadores ambientais de resíduos sólidos coerentes.

Para responder tais perguntas, podemos citar exemplos de indicadores que indicam o número de irregularidades na deposição de RSU, o grau de recuperação de passivos ambientais, de recuperação dos resíduos e cumprimento da licença ambiental em operação. ⁽¹⁰⁾

É importante ressaltar que todas as empresas e órgãos públicos devem estimular internamente uma forma eficiente para melhorar seus desempenhos. O GESPÚBLICA⁽¹¹⁾ propõe, entre outras metodologias, para que um indicador obtenha resultados sólidos, devem-se seguir 10 passos, conforme Figura 2:

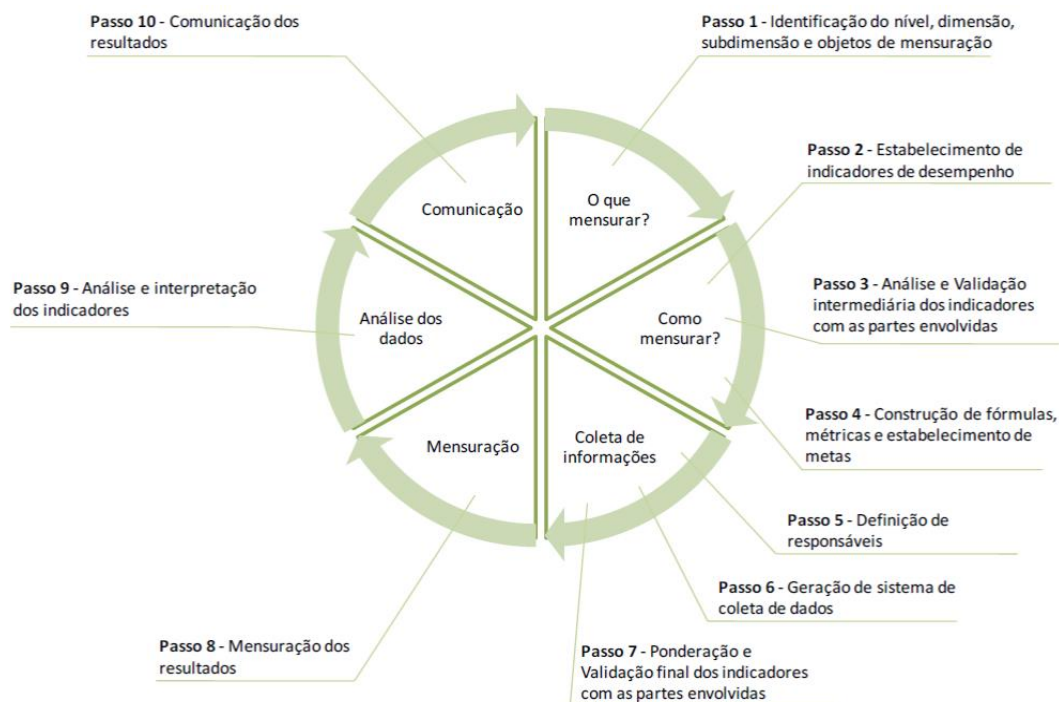


Figura 2. Etapas de medição e os 10 passos para a construção de indicadores. ⁽⁶⁾

Seguindo o caminho sugerido para a construção de um indicador para a gestão pública, deve-se estabelecer onde o parâmetro será associado, se no governo, em um setor, em uma organização ou uma unidade; levar em conta indicadores de desempenho baseados nos 6Es que são Efetividade, Eficácia, Eficiência, Execução, Excelência e Economicidade (passo 1).

Após saber o que mensurar, deve-se definir se os indicadores serão expressos por percentuais, médias, números absolutos, proporções ou índices; sem deixar de observar as características básicas de um indicador, já citados anteriormente (passo 2). Para continuar o processo de elaboração, deve-se apresentar o escopo para a validação da alta direção (passo 3). Concluindo o passo de como mensurar um indicador, a construção da fórmula de forma que seja de simples entendimento resultando em um número de fácil comparação; deve possibilitar a construção de um cenário futuro desejável; é importante a tradução do resultado da fórmula em uma nota para melhor comparação do desempenho (passo 4).

Estabelecimento dos responsáveis dentro da organização para apuração dos resultados das fórmulas, geração dos resultados dos indicadores e divulgação (passo 5). Definição da metodologia de coleta de dados e, então, a avaliação pelas partes interessadas se o indicador é válido observando os componentes essenciais de um indicador (passos 6 e 7).

Após todo o processo de coleta de dados, cálculos e obtenção dos resultados, é necessário converter esse número em sua nota correspondente (passo 8). Análise e interpretações dos dados por meio de reuniões são essenciais para que o sistema funcione e melhore continuamente (passo 9). Então, por último, a comunicação do desempenho para integração da organização (passo 10).

CONCLUSÃO

Portanto as principais vantagens são que os indicadores conseguem aglutinar uma infinidade de informações e simplificar a realidade, sendo apto a ser comparada com outras organizações (benchmarking) e internamente; dar transparência a todo o processo, e; muitas vezes atua como uma ferramenta de educação ambiental, pois faz com que os envolvidos percebam o caráter emergencial quando o indicador alcança determinada nota. ⁽¹²⁾

Nota-se que o uso de indicadores está cada vez maior na gestão de resíduos sólidos, isso vem se consolidando devido ao fator de necessidade de mensuração e engajamento entre setores.

REFERÊNCIAS

- 1 VAN BELLEN, Hans Michael. **Indicadores de sustentabilidade - um levantamento dos principais sistemas de avaliação**. Fgv- Ebape, Santa Catarina, v. 2, n. 1, p.1-14, mar. 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cebape/v2n1/v2n1a02>>. Acesso em: 12 set. 2018.
- 2 WEBSTER, J.; WATSON, R. T. **Analyzing the past to prepare for the future: writing a literature review**. MIS Quarterly, v. 26, n. 2, p. 13-23, 2002. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4031558/mod_resource/content/1/ANALYZING%20THE%20PAST%20TO%20PREPARE%20FOR%20THE%20FUTURE-%20WRITING%20A%20LITERATUR.pdf>. Acesso em: 05 set. 2018.
- 3 AFONSO, M. H. F. et al. **Como construir conhecimento sobre o tema de pesquisa? Aplicação do processo Proknow-C na busca de literatura sobre avaliação do desenvolvimento sustentável**. Revista de Gestão Social e Ambiental, v. 5, n. 2, p. 47-62, 2011.. Disponível em: <https://rgsa.emnuvens.com.br/rgsa/article/view/424/pdf_13>. Acesso em: 06 set. 2018.
- 4 GOHR, Claudia Fabiana et al. **UM MÉTODO PARA A REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA EM PESQUISAS DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO: XXXIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**. Enegep, Bahia, p.2-18, 11 out. 2013. Anual. A Gestão dos Processos de Produção e as Parcerias Globais para o Desenvolvimento Sustentável dos Sistemas Produtivos. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2013_tn_sto_186_058_22376.pdf>. Acesso em: 10 set. 2018.
- 5 GALVÃO, Taís Freire; PEREIRA, Mauricio Gomes. **Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração: Systematic reviews of the literature: steps for preparation**. Epidemiol. Serv. Saúde, Brasília, v. 1, n. 23, p.183-184, mar. 2014. Trimestral. Disponível em: <<https://www.scielo.org/pdf/ress/2014.v23n1/183-184/pt>>. Acesso em: 15 set. 2018.
- 6 FNQ – Fundação Nacional da Qualidade. **O que são sistemas de indicadores?** Disponível em: <<http://www.fnq.org.br/informe-se/noticias/o-que-sao-sistemas-de-indicadores>>. Acesso em: 14/09/2018.
- 7 R.T.S. Lages, S.L.B. França. **Definição e análise de indicadores através do conceito do *triple bottom line***. In: XXX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Anais... São Carlos, 2010.
- 8 SENAI. RS. **Indicadores Ambientais e de Processo**. Porto Alegre, UNIDO, UNEP, Centro Nacional de Tecnologias Limpas. Porto Alegre: SENAI, 2003.
- 9 M.A.G. Figueiredo. **O Uso de Indicadores Ambientais no Acompanhamento de Sistemas de Gerenciamento Ambiental**, Revista Produção, Belo Horizonte, Vol. 6, N°1, 1996, p.33-44.

- 10 C.N.M. Polaz, B.A.N. Teixeira. **Indicadores de sustentabilidade para a gestão municipal de resíduos sólidos urbanos: um estudo para São Carlos (SP)**, Revista Eng Sanit Ambient, v.14, n.3, jul/set 2009, 411-420.
- 11 GESPÚBLICA. **Melhoria da gestão pública por meio da definição de um guia referencial para medição do desempenho da gestão, e controle para o gerenciamento dos indicadores de eficiência, eficácia e de resultados do programa nacional de gestão pública e desburocratização**. Produto 4: guia referencial para medição de desempenho e manual para construção de indicadores. Brasília: Ministério do Planejamento, 2009.
- 12 T.M. Nunes. **Vantagens e desvantagens do uso de indicadores de desempenho individual em equipes de desenvolvimento de software: Um estudo de caso na empresa Z**. São Leopoldo: Unisinos, 2016.

PELOTIZAÇÃO NA OBTENÇÃO DE PARTÍCULAS CERÂMICAS

Cardoso, Gustavo.¹

Souza, Pedro H. M.²

Fagundes, Enio C.M.³

Martins, Vinicius⁴

Calcagno, Carmen I. W.^{5,*}

¹ Graduando em Engenharia Mecânica, Instituto Federal Sul-Rio-Grandense – Campus Sapucaia do Sul. guga.cardoso@hotmail.com

² Graduando em Engenharia Mecânica, Instituto Federal Sul-Rio-Grandense – Campus Sapucaia do Sul. souza.pedrohm@gmail.com

³ Doutor, Instituto Federal Sul-Rio-Grandense – Campus Sapucaia do Sul. eniofagundes@sapucaia.ifsul.edu.br

⁴ Doutor, Instituto Federal Sul-Rio-Grandense – Campus Sapucaia do Sul. viniciusmartins@sapucaia.ifsul.edu.br

⁵ Doutora, Instituto Federal Sul-Rio-Grandense – Campus Sapucaia do Sul. carmencalcagno@sapucaia.ifsul.edu.br

Resumo

O objetivo deste trabalho foi investigar os parâmetros do processo de pelotização na obtenção de partículas cerâmicas. Sílica comercial e sílica verde foram combinadas a dois diferentes tipos de aglomerantes e foram testados na formação de esferas. O principal parâmetro de processo testado foi a quantidade em massa de material adicionado ao prato por batelada, mantendo-se constante os ângulos de inclinação do prato e dos raspadores. As partículas cerâmicas selecionadas foram sinterizadas e analisadas quanto ao tamanho, à esfericidade e ao arredondamento. Partículas com esfericidade e arredondamento superiores a 0,7 foram produzidas com ambos materiais. Em tamanhos inferiores a 1mm, a sílica comercial tendeu a adquirir formatos irregulares. A quantidade em massa adicionada no prato não influenciou na esfericidade e no arredondamento. No entanto, para a obtenção de partículas pequenas foi identificado a necessidade de um maior controle na adição de água, entre outros parâmetros. A mudança do material a ser pelotizado necessita a reavaliação dos parâmetros em que a máquina se encontra, podendo ser necessária a alteração dos mesmos, assim como, também o ajuste de alguns procedimentos durante a pelotização.

Palavras-chave: Pelotização; Sílica; Cerâmicos.

PELLETIZING ON THE OBTAINING OF SILICA PARTICLES

Abstract

The objective of this article was to investigate the parameters of pelletizing process on the obtaining of ceramic particles. Silica and green silica was combined with two different types of agglomerant and tested on the pelletization process. The main

parameter of the process was the material quantity added to the disc by batch, keeping constant the inclination angles of the disc and scrapers. The selected ceramic particles was sintered and analyzed for sphericity and roundness. Particles with sphericity and roundness over than 0,7 was produced with both materials. In sizes smaller than 1mm, Commercial Silica tends to acquire irregular shapes. The quantify of mass added to the disc and his size doesn't influence on the sphericity and roundness. However, for obtain small particles was indentified the necessity of a greater control of water addiction, and among other parameters. The material change to be pelletized need a reavalliation of the machine parameters, may be necessary the alteration of them as well the adjustment of some procedures during the pelletizing.

Key words: Pelletizing; Silica; Ceramics.

1 INTRODUÇÃO

Em poços de petróleo e gás, propantes são utilizados após o faturamento hidráulico com o intuito de impedir o fechamento das fraturas auxiliando assim a passagem do produto ⁽¹⁾. Os propantes são materiais cerâmicos particulados e devem ter características que confirmam eficiência em seu uso, tais como, resistências química e mecânica ⁽²⁾. Essa última é influenciada pelo tamanho, tipicamente entre 0,841mm e 0,420mm, e o formato das partículas que devem apresentar-se esféricas e arredondadas ⁽³⁾. A produção de partículas com tais características geométricas a partir de sílica de menor tamanho é um desafio e o uso do processo de pelotização pode ser uma alternativa para realizar tal etapa de aglomeração.

A pelotização é, frequentemente, empregada na indústria de mineração para a junção de finos menores do que 0,15mm ⁽⁴⁻¹⁰⁾. A técnica consiste na movimentação do material em disco rotativo acrescido, ou não, de um aglomerante. O processo origina o movimento radial do material na presença de água (<10%) e o rolamento em disco, somado a ação da tensão superficial de capilaridade, proporciona a formação de aglomerados esféricos^(4;6;11-14).

Além do material, aditivos e aglomerantes, são exemplos de parâmetros que influenciam na qualidade e eficiência do produto final: taxa de alimentação, velocidade de rotação, ângulo de inclinação, profundidade útil, posição dos raspadores, espessura da camada de fundo, posição do ponto de alimentação⁽⁴⁾.

Os aglomerantes são utilizados para melhorar a formação das pelotas, proporcionando plasticidade ao material e também maior rigidez mecânica do particulado cru^(4;13-14). Diferentes materiais têm sido usados como aglomerantes, sendo a bentonita um dos mais frequentes^(6-8;15-18). As proporções mássicas desses auxiliares de aglomeração na composição a ser pelotizada varia de 0,03% a 10%^(4;6-9;11;19).

Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi investigar o processo de pelotização de sílica para obtenção de particulados com características geométricas necessárias para aplicação como propantes.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para os testes foram utilizados sílica (Zeosil 1165MP, 98%) e sílica verde (Silroz 325, 80%), em conjunto com bentonita ou açúcar, acrescidos de água, como agentes aglomerante. Os materiais foram misturados em proporções 9:1 e postos

em uma pelletizadora laboratorial (Figura 1.a) com uma frequência de 3Hz (180rpm), e umidificados com o auxílio de aspersor.

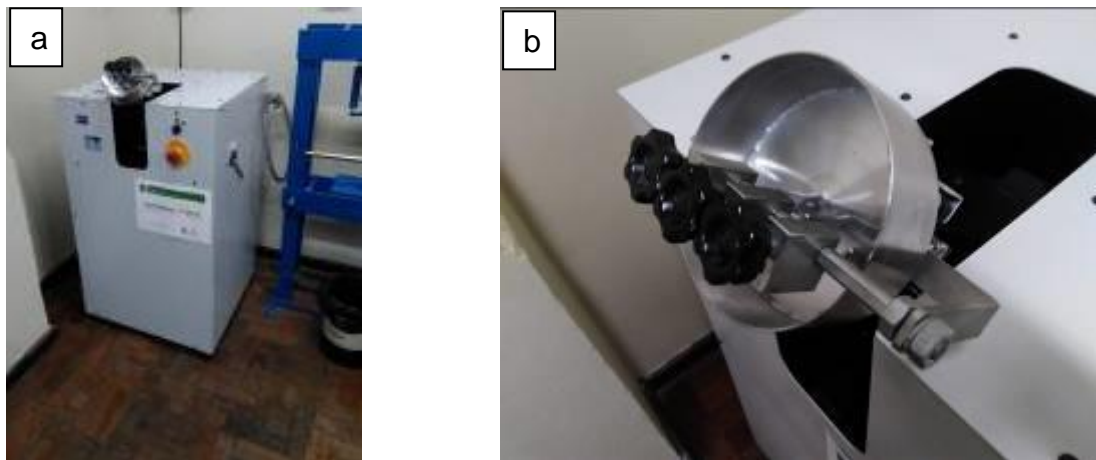


Figura 1: a) Pelotizadora laboratorial; b) Prato e raspadores em ângulo

O parâmetro principal do processo analisado foi a quantidade em massa utilizada na produção das pelotas. O ângulo de inclinação do prato e dos raspadores (Figura 1.b) foram de 45° e mantiveram-se constantes durante todo o processo.

Depois de formadas, as pelotas foram retiradas com auxílio de uma espátula e levadas ao forno tubular de sinterização (Sanchis) sobre barcas de alumina à uma temperatura de 1200°C por 2h precedida por uma isoterma de 600°C por 1h, com uma curva de aquecimento de 10°C/min. Depois de sinterizado o particulado foi classificado quanto ao tamanho de partículas utilizando-se de peneiras do Mesh 20 ao 40. A fração de interesse foi aquela retida entre essas peneiras e os particulados de tamanho menores do que o desejado foram denominados “finos” e os maiores “grossos”.

Depois, amostras aleatórias de cada mesh foram observadas em estereomicroscópio (Bioptika L60B) e avaliadas quanto à esfericidade e ao arredondamento, conforme a carta Krumbein & Sloss, comparando-se com os valores referenciais para aplicação como propantes⁽²⁾.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para investigar os parâmetros do processo de pelletização foram realizados testes com sílica de alta pureza e sílica verde, esta última proveniente da queima da casca de arroz. Os aglomerantes investigados foram bentonita e açúcar em procedimentos que utilizaram diferentes quantidades totais de massa no prato, sendo elas de 10g e 30g, destas, 90% sendo sílica e 10% de agente aglomerante.

Houve a formação de pelotas (antes, Figura 2.a e com pelotas, Figura 2.b) utilizando ambos os aglomerantes. A quantidade recuperada de massa pelletizada foi inferior à massa empregada no início do processo. A explicação principal para a diferença de massa perdida está associada à dificuldade de controle na incorporação de água, que se não for controlado resulta na saturação do material e impede a formação das esferas.

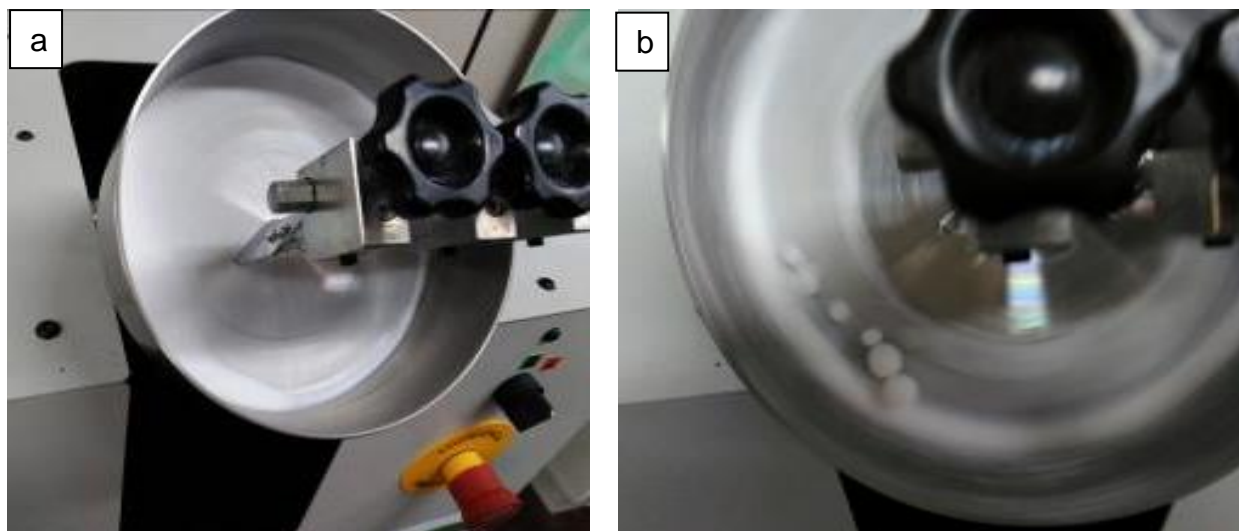


Figura 2: a) Início do processo de pelletização; b) Formação de esferas

Durante os experimentos foi observado que os raspadores acabam por acumular o material dificultando a pelletização e, também, foi observado que a produção de pelotas foi intensificada quando há um raspador na parte superior do disco. Assim, o equipamento foi adaptado com a inclusão de uma ferramenta na parte superior que auxiliou na dispersão do material evitando o acúmulo. A Figura 3.a ilustra o acúmulo de material identificado durante a pelletização e a Figura 3.b mostra a adaptação instalada no equipamento.

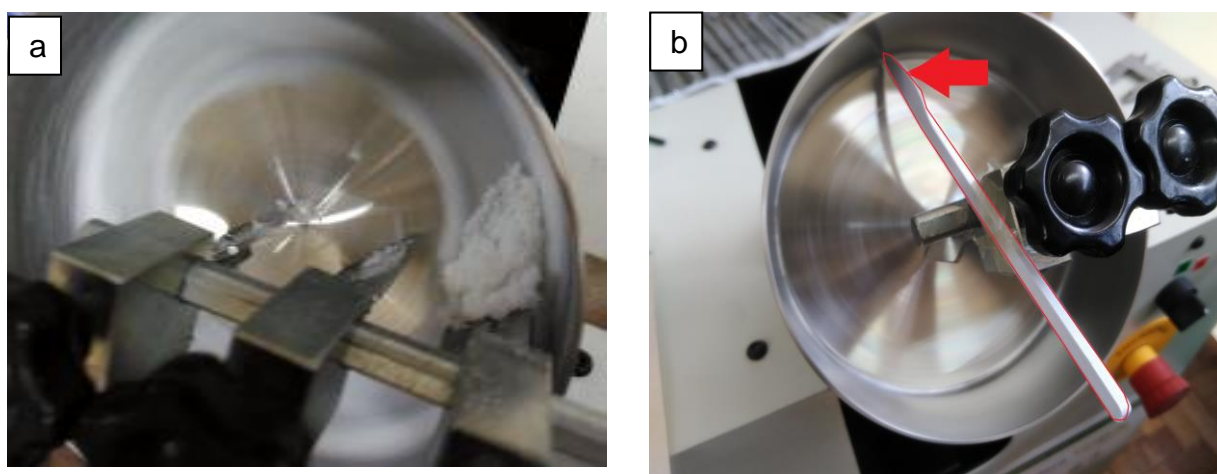


Figura 3: a) Acúmulo de material sobre o raspador da direita; b) Adaptação

As amostras que utilizaram a bentonita como agente aglomerante apresentaram, para ambas as sílicas, diferenças de rendimento entre a massa depositada na pelletizadora e a massa efetivamente pelletizada. Para a sílica foi observado um rendimento médio de 64% para misturas de 10g e rendimento de 21% para amostras de 30g, como pode ser visualizado na Tabela 1.

Tabela 1. Dados comparativos entre quantidade em massa, aglomerante e sílica.

Quantidade em massa		10g				30g			
Aglomerante		Bentonita		Açúcar		Bentonita		Açúcar	
Sílica		Zeosil 1165MP	Silroz 325	Zeosil 1165MP	Silroz 325	Zeosil 1165MP	Silroz 325	Zeosil 1165MP	Silroz 325
Rendimento médio		64%	65%	45%	40%	21%	88,6%	46%	33%
Quantidade de água em relação a massa inicial		250%	50%	280%	65%	216%	20%	200%	20%
Distribuição Granulométrica média	Grossos	33%	58%	25%	88%	68%	27%	37%	80%
	20-40	28%	7,10%	30%	4%	17%	8%	30%	4%
	Finos	38%	28,9	45%	7%	14%	65%	33%	16%
Esf.&Arr. Média		0,7-0,5	0,7-0,7	0,5-0,4	0,5-0,4	0,7-0,5	0,8-0,7	0,7-0,6	0,7-0,6
Rendimento efetivo		18%	4,6%	13,5%	1,6%	3,6%	7%	13,8%	1,3%

A proporção média de água utilizada para a pelletização foi de 250% (25g) para as amostras de 10g e de 216% (65g) para as amostras de 30g, observando-se que as quantias de água não seguem a proporção utilizada com as amostras de 10g, sendo necessário um percentual menor de água para a pelletização com 30g.

Depois de sinterizadas, as pelotas foram classificadas quanto ao tamanho de partícula e as distribuições granulométricas estão apresentadas na Tabela 1. Pode ser visualizado que 28% da massa pelletizada da amostra de 10g ficou retida entre os meshes 20 e 40, que é a fração de maior interesse para a aplicação em propantes. Também, pode ser visualizado que a fração de interesse foi menor quando a batelada de maior massa foi processada e apenas 17% da massa pelletizada ficou retida. Vale destacar que a fração com particulados de maior tamanho (grossos) foi de 68% da massa. Não foram identificadas diferenças significativas de esfericidade e arredondamento para ambas quantidades de massa, as quais foram classificadas com esfericidade 0,7 e arredondamento 0,5.

Um rendimento médio de 65% de massa pelletizada foi observado nos testes com sílica verde e menor massa total inserida no prato. Esse resultado foi semelhante ao observado para a sílica de alta pureza. Nos testes com maior massa total de sílica verde, o rendimento foi de 88,6%. Nos experimentos com sílica verde, vale destacar que o percentual de água necessária para a pelletização foi menor quando comparada à sílica, sendo que foi necessária uma fração de 50% (5g) para as amostras de 10g e 20% (6g) para as de 30g. Por outro lado, o rendimento das frações retidas entre os meshes 20 e 40 foi menor quando comparado à sílica e

representaram cerca de 8% em qualquer um dos testes, produzindo particulados com esfericidade e arredondamento dentro da especificação de propantes, (0,8 e 0,7, respectivamente).

Nos testes em que açúcar foi utilizado como agente aglomerante, o rendimento médio de pelotas formadas com sílica foi de aproximadamente 45% para ambas bateladas (produzidas com menor e maior quantidade de massa total). Os valores percentuais do uso de água para a pelotização seguiram a mesma tendência observada nos testes com bentonita e foram maiores (280% de água) para as amostras de 10g e menores (200% de água) para as amostras de 30g. A fração retida nas malhas 20/40 foi de 30% em relação a massa pelotizada, porém houve diferença nos resultados de esfericidade e arredondamento associado ao tamanho da batelada, sendo 0,5 e 0,4 para as amostras de 10g e 0,7 e 0,6 para as amostras de 30g, respectivamente, ambos fora das especificações recomendadas para aplicação em propantes.

Nos testes com sílica verde e açúcar, os rendimentos médios de material pelotizado ficaram entre 30% e 40%. Semelhante ao observado com o uso de bentonita como aglomerante, os percentuais de água necessária para pelotização da sílica verde foram menores do que para sílica (65% e 20% na batelada de menor e maior massa, respectivamente). Nesses testes com açúcar, o rendimento de frações retidas entre 20/40 foi de apenas 4%.

Para todos os experimentos foi notado que a aplicação de água deve ser feita em pouca quantidade e em períodos que possibilitem a formação de pelotas antes da próxima aplicação de água já que a própria aplicação de água pode desmanchá-las e a água excesso tende a saturar a mistura, impossibilitando definitivamente a formação de pelotas (Figura 4.a para sílica e 4.b para sílica verde).

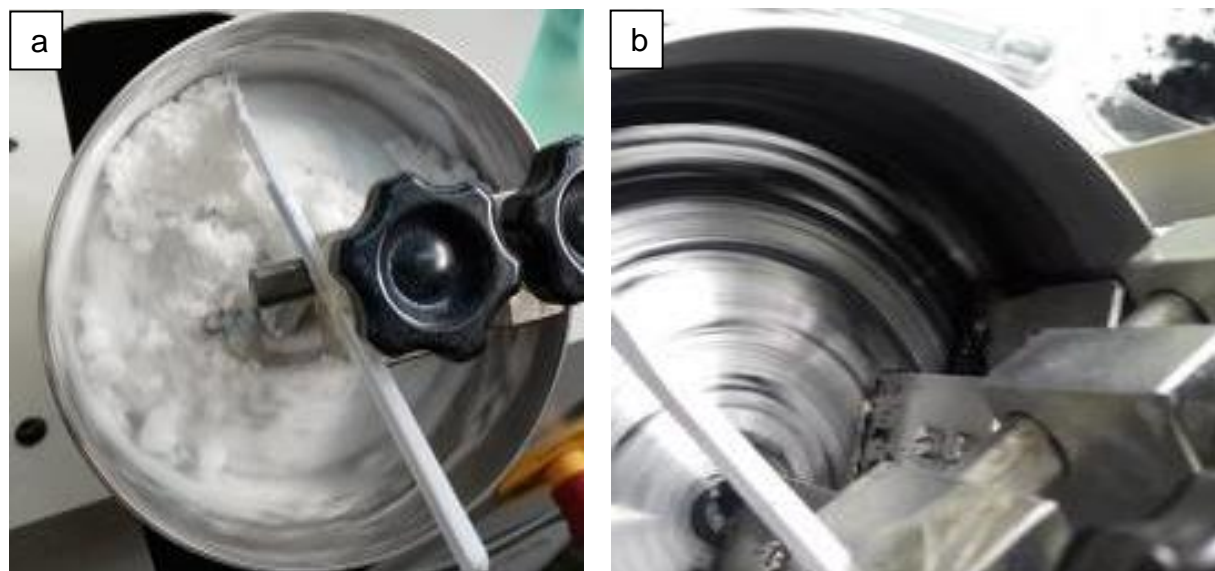


Figura 4: a) Sílica saturada; b) Sílica verde saturada

As pelotas formadas com sílica resultaram baixos valores de esfericidade e arredondamento. Análise microscópica das partículas aglomeradas revelaram que cada pelota era formada por pequenas esferas unidas tangencialmente que criaram geometrias irregulares especialmente abaixo de 1mm como visto na Figura 5.a e 5.b em que vemos grãos de aproximadamente 0,01mm, enquanto vemos grãos de aproximadamente 0,005mm nas amostras de Sílica Verde.

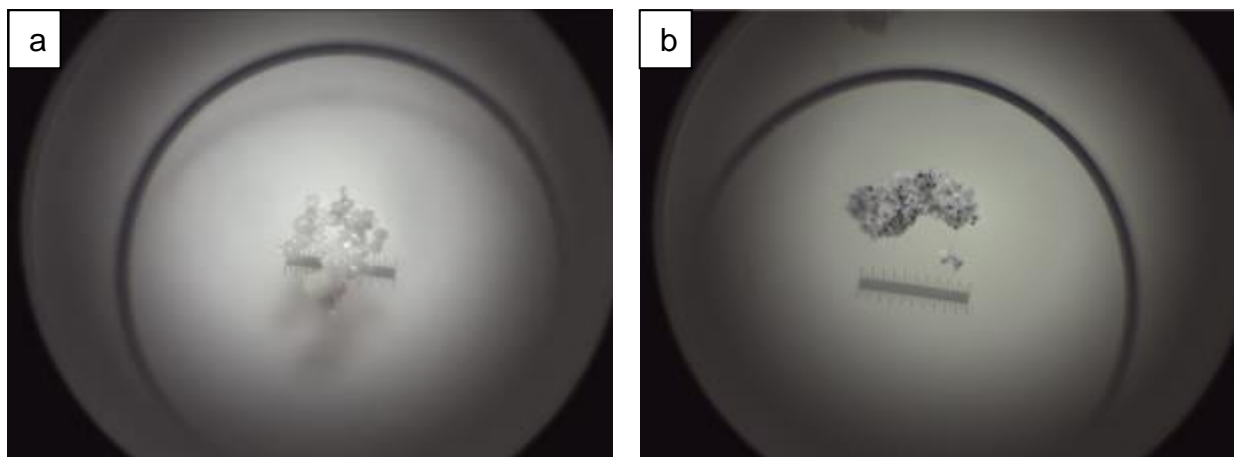


Figura 5: a) Sílica formando um aglomerado; b) Sílica verde formando um aglomerado.

Por outro lado, nas frações classificadas como grossos foi observada a formação de pelotas com maiores valores de esfericidade e de arredondamento, como pode ser visualizado na Figura 6.a e 6.b .

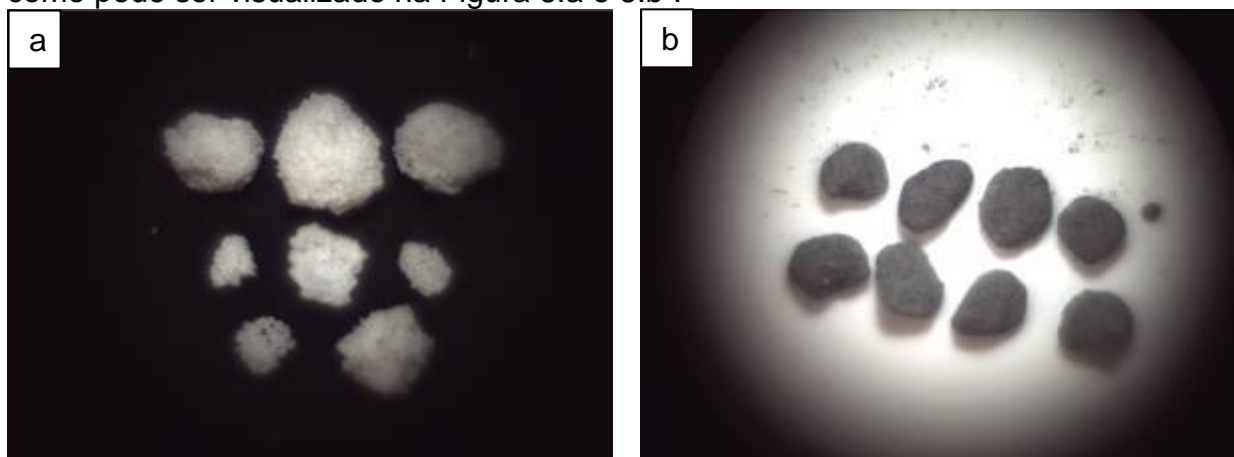


Figura :6 a) Grossos de sílica; b)Pelotas de sílica verde.

4 CONCLUSÃO

Este trabalho buscou estabelecer condições do processo de pelotização de sílica para formação de particulados com características geométricas necessárias para aplicação como propantes. A bentonita foi o aglomerante com melhor resultado nos testes realizados e promoveu a formação de particulados com esfericidade e arredondamento dentro da especificação de propantes. Os teores de água necessárias à pelotização variaram bastante e dependeram da quantidade total de massa adicionada ao disco, bem como, do tipo de matéria-prima (sílica ou sílica verde). Os rendimentos em massa de particulados dentro da fração de interesse (20/40) foram baixos e, também, os melhores valores de esfericidade e arredondamento estão no limite inferior definido na especificação, o que justifica a continuidade na investigação dos parâmetros de processo para a melhoria desses indicadores.

Agradecimentos

Os autores agradecem à empresa Marina Tecnologia pela parceria no desenvolvimento do projeto RiceProp – BIOmassa em materiais para indústria de petróleo e gás, ao IFSul/Campus Sapucaia pela oportunidade de estágio e à PROPESP/IFSul e ao CNPq pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- 1 BARRETO, Marcelo Neves. Caracterização de materiais para garantir a condutividade de fraturas hidráulicamente induzidas em poços de petróleo e gás. 2010. 182 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
- 2 ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 13503-2 Indústrias do Petróleo e Gás Natural - Fluidos e Materiais de Completação. Parte 2: Medição das propriedades de propantes usados em operações de fraturamento hidráulico e gravel-packing. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- 3 LIANG, Feng et al. A comprehensive review on proppant technologies. **Keai: Advancing Research Evolving Science**, [s.l.], v. 2, n. 1, p.26-39, 5 nov. 2015.
- 4 LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. Tratamento de Minérios – 5ª Edição/Ed. - Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010.
- 5 ALGHAMRI, R. et al. Preparation and polymeric encapsulation of powder mineral pellets for self-healing cement based materials. **Construction and Building Materials**. [s. L.], p. 247-262. 24 jun. 2018. *Materials Science and Engineering* 178 (2017) 012003
- 6 KOTTA, Anand Babu; KARAK, Swapan Kumar; KUMAR, M. Characterization of iron ore pellets with dextrin added organic binders under different time and temperature conditions. **Iop Conference Series: Materials Science and Engineering**, [s.l.], v. 178, 12 p., fev. 2017. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899x/178/1/012003>.
- 7 KAWATRA, S. Komar; RIPKE, S. Jayson. Effects of bentonite fiber formation in iron ore pelletization. **International Journal of Mineral Processing**. [s.L.], p. 141-149. 18 jul. 2002.
- 8 SRIVASTAVA, Urvashi; KAWATRA, S. Komar; EISELE, Timothy C. Study of Organic and Inorganic Binders on Strength of Iron Oxide Pellets. **Metallurgical And Materials Transactions B**, [s.l.], v. 44, n. 4, p.1000-1009, 11 abr. 2013.
- 9 KLEYNHANS, E.I.j. et al. Unique challenges of clay binders in a pelletized chromite pre-reduction process. **Minerals Engineering**. [s.l.], p. 55-62. 15 maio 2012.
- 10 PAL, Jagannath et al. Development on Iron Ore Pelletization Using Calcined Lime and MgO Combined Flux Replacing Limestone and Bentonite. **Isij International**, [s.l.], v. 54, n. 10, p.2169-2178, 8 jul. 2014.
- 11 YE, Lei et al. Preparation of core-shell iron ore-biochar composite pellets for microwave reduction. **Powder Technology**. [s,l], p. 365-375. out. 2018.
- 12 YANG, Y-h.; STANDISH, N.. Fundamental Mechanisms of Pore Formation in Iron Ore Sinter and Pellets. **Isij International**. [s.l.], p. 468-477. 15 maio 1991.

- 13 MEYER, K. Pelletizing of Iron Ore. 1ª Edição Düsseldorf, Alemanha: Springer-Verlag Berlin, 1980.
- 14 AUGUSTO, Karen Soares. Identificação Automática do Grau de Maturação de Pelotas de Minério de Ferro. 2012. 183 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.
- 15 MENEZES, E.G.R. ANDREOLI, M. CHIBA, R SEO, E.S.M. Processo de pelotização do óxido de zircônio. CONGRESSO IBEROAMERICANO DE CERÂMICA, 57. 2013, Gramado. **Processo de pelotização do óxido de zircônio**. Natal. Anais, 2013. 12 p.
- 16 FORSMO, S.p.e. et al. Binding mechanisms in wet iron ore green pellets with a bentonite binder. Powder Technology. [s.l.], p. 147-158. 30 ago. 2006.
- 17 GÜNEYISI, Erhan et al. Durability aspect of concretes composed of cold bonded and sintered fly ash lightweight aggregates. **Composites**. [s.l.], p. 258-266. 03 maio 2013.
- 18 YOOSUK, Boonyawan; METHAKHUP, Pornthip; PRASASSARAKICH, Pattarapan. Binary sorption of CO₂ and H₂S over polyamine modified fumed silica pellets in a double stage fixed-bed system. Process Safety And Environmental Protection. [s.l.], p. 173-179. 16 jan. 2017.
- 19 GAN, Min et al. Value-added utilization of waste silica powder into high-quality chromite pellets preparation process. **Powder Technology**. [s.l.], p. 122-129. 6 fev. 2018.

DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO: PROJETO DE UM ALIMENTADOR AUTOMATIZADO PARA KIT DIDÁTICO DE MECATRÔNICA

Terres, W. V. F.¹
de Matos, E. B.²
Martins, R. S.³
Valadão, Y. N.⁴

- ¹ *Estudante Técnico em Mecatrônica, Wesley Vinicius Flôres Terres, Instituto Federal Sul-Riograndense – Campus Avançado Novo Hamburgo, wesleyfloresterras@gmail.com.*
- ² *Mestre em Matemática, Erivelto Bauer de Matos, Instituto Federal Sul-Riograndense – Campus Avançado Novo Hamburgo, eriveltomatos@ifsul.edu.br.*
- ³ *Mestre em Sistemas e Processos Industriais, Richard Silva Martins, Instituto Federal Sul-Riograndense – Campus Avançado Novo Hamburgo, richardmartins@ifsul.edu.br.*
- ⁴ *Especialista em Automação e Eletrônica Industrial, Yuri das Neves Valadão, Instituto Federal Sul-Riograndense – Campus Avançado Novo Hamburgo, yurivaladao@ifsul.edu.br.*

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

Resumo

As atividades dos profissionais das áreas de engenharia são baseadas em procedimentos sistemáticos na busca por resultados técnicos, mas, acima de tudo, que os resultados sejam confiáveis. Metodologias com aplicações criteriosas fazem parte da rotina destes profissionais. O ensino e aprendizagem de mecatrônica tem por base conhecimentos fundamentais da mecânica e eletrônica. Além disso, os conhecimentos trabalhados devem estar vinculados ao perfil profissional deste técnico industrial. O trabalho aborda o desenvolvimento de um alimentador de materiais para um kit didático de automatização de processos. O objetivo geral visa a aplicação de uma metodologia de projeto de produto no desenvolvimento da ideia, com vistas a aproximar os estudantes das atividades do mundo do trabalho. Para tanto, foi realizada revisão da literatura e, em seguida, aplicada a metodologia de Kamisnki (2008). As etapas adotadas constam de: percepção das necessidades, geração de ideias, desenvolvimento de conceito, elaboração dos desenhos, construção de modelo físico e realização de testes de funcionamento. Como resultados da aplicação da metodologia pode-se destacar a idealização de alternativa de solução para a alimentação do kit didático, com coleção de documentos de projeto. Pode-se concluir que a aplicação desta proposta, além de gerar solução de alimentador para o kit didático, propiciou a aproximação da equipe da rotina profissional dos técnicos de engenharias, pois foi possível experienciar as atividades metodológicas, bem como a utilização de ferramentas de desenvolvimento e geração de ideias.

Palavras-chave: Desenvolvimento de Produto; Kit Didático; Procedimento sistemático.

PRODUCT DEVELOPMENT: DESIGN OF AN AUTOMATED FEEDER FOR MECHATRONICS TEACHING KIT

Abstract

The activities of engineering professionals are based on systematic procedures in the search for technical results, but, above all, that the results are reliable. Methodologies with careful applications are part of the routine of these professionals. The teaching and learning of mechatronics is based on fundamental knowledge of mechanics and electronics. In addition, the knowledge worked must be linked to the professional profile of this industrial technician. The paper deals with the development of a material feeder for a process automation teaching kit. The general objective is to apply a product design methodology in the development of the idea, aiming to bring students closer to the activities of the world of work. For that, a review of the literature was carried out and then the methodology of Kamisnki (2008) was applied. The steps taken include: perception of needs, generation of ideas, concept development, drawing of the drawings, construction of a physical model and performance tests. As a result of the application of the methodology it is possible to highlight the idealization of alternative solution for the feeding of the didactic kit, with collection of project documents. It can be concluded that the application of this proposal, besides generating feeder solution for the didactic kit, allowed the approach of the professional routine team of the engineering technicians, since it was possible to experience the methodological activities, as well as the use of development tools and generation of ideas.

Key words: Product development; Didactic Kit; Systematic procedure.

1 INTRODUÇÃO

Atividades de ensino e aprendizagem de mecatrônica tem por base conhecimentos fundamentais da mecânica e eletrônica. Conhecimentos sobre materiais, elementos de máquinas, circuitos eletrônicos e lógica de programação, pneumática e hidráulica são essenciais ao técnico da área. Além disso, com os avanços científicos na área de tecnologia da informação, as estruturas produtivas, onde este profissional estará inserido, vem sendo incrementadas com tecnologia exponencialmente e agregando a suas estruturas cada vez mais conceitos e tecnologias de área de tecnologia da informação.

Esse cenário deve provocar nos espaços acadêmicos movimento de buscas por aproximação de tecnologias e/ou ferramentas educacionais que traduzam essa nova dinâmica do mundo do trabalho. Adão e Rangel⁽¹⁾ salientam que “o processo de ensino- aprendizagem deve oferecer experiências capazes de transformar cidadãos competentes para enfrentar os problemas cada vez mais complexos do mundo do trabalho e da sociedade”.

Nessa ótica as atividades práticas em laboratório ganham fundamental importância e passam a ser imprescindíveis para processo de ensino-aprendizagem de qualidade, pois através delas pode-se simular os espaços de trabalho dos futuros profissionais egressos do ambiente acadêmico.

Nesse mesmo sentido, outra defesa sobre a atividade que produza significado ao estudante nos espaços de ensino é a de Demo⁽²⁾. O autor milita em favor da pesquisa como princípio educativo. A pesquisa faz com que os estudantes possam experimentar na prática as ações emancipatórias. Elas tornam os momentos de ensino enriquecedores e contribuintes para com a autossustentação e autogestão dos educandos. Autossustentação como processo de trabalho e produção por meio do qual se promove a sobrevivência material e a autogestão como processo de

organização política no qual o ser social constitui competências para a condição de cidadão.

Este artigo abordara o desenvolvimento de um alimentador de materiais para um kit didático de automatização de processos. O objetivo geral visa a aplicação de uma metodologia de projeto de produto no desenvolvimento da ideia com vistas a aproximar os estudantes das atividades do mundo do trabalho. Para tanto foi realizada revisão da literatura e em seguida aplicada a metodologia de Kaminski (2008).

1.1 Metodologia de Projeto e Desenvolvimento de Produto

O processo de desenvolvimento de produtos, segundo Pinto *et al.*⁽³⁾, coloca-se como um dos processos-chave de qualquer empresa que possui a proposta de competir por meio de criação de produtos próprios e busca o destaque tecnológico.

Uma definição para metodologia aplicada ao desenvolvimento de produto pode ser entendida pela abordagem de Kaminski⁽⁴⁾: O desenvolvimento em etapas necessárias a constituição do produto, independente das características individuais que possa haver entre os diversos tipos e possibilidades, constituem-se em um método geral comum. Partindo-se de necessidades, a aplicação desta metodologia, busca chegar aos meios para satisfazê-las, indicando como utilizar os recursos para obter o produto. O processo de desenvolvimento de produto, conforme Back *et al.*⁽⁵⁾, vem acompanhando a atividade humana desde os tempos em que os artesãos fabricavam os utensílios de forma mais rústicas. Com a revolução industrial e os avanços em volume produtivo nas indústrias, houve a necessidade de segmentação de atividades e assim surgiu as atividades de projeto. No século XX iniciaram-se os estudos isolados sobre atividades de projetos. Asimov (1962) trata do processo de desenvolvimento de produto de forma mais sistemática; outras ações vieram na sequência na Alemanha, nos Estados Unidos, na Inglaterra; no Brasil a primeira ação ocorreu na década de 1980.

Em 1983 a primeira obra em língua portuguesa foi publicada por Nelson Back. A proposição de Back (1983) para modelo de referência metodológica possui constituição de 5 fases para a criação de projeto de produtos: a) estudo de viabilidade; b) projetos preliminar e detalhado; c) revisão e testes; d) planejamento para produção, mercado e consumo; e) planejamento da obsolescência. Vieira *et al.*⁽⁶⁾ salienta que a primeira fase enquadra-se no que o autor estabelece como pré-desenvolvimento, as três fases seguintes no desenvolvimento propriamente dito, e a última fase trata do pós-desenvolvimento.

Em 2008, Kaminski apresenta estrutura para desenvolvimento de projeto contendo sete fases. A primeira fase como sendo Estudo de Viabilidade; a segunda fase como sendo Projeto Básico; a terceira fase como sendo Projeto Executivo; a quarta fase como sendo Planejamento Para a Produção/Execução; a quinta fase como sendo Planejamento para Disponibilização ao Cliente; a sexta fase como sendo Planejamento de Consumo ou Utilização do Produto; e por fim a sétima fase como sendo Planejamento do Abandono do Produto.

A Figura 1. Síntese da Metodologia de Desenvolvimento de Projeto. busca sistematizar a abordagem de Kaminski para desenvolvimento de projeto.

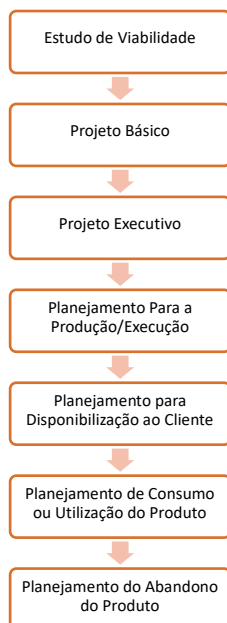


Figura 1. Síntese da Metodologia de Desenvolvimento de Projeto.

Independente das características individuais de cada produto, as várias etapas necessárias ao seu desenvolvimento constituem-se em um método geral comum. Neste projeto chegaremos a etapa de colocar em execução o produto, sendo assim, a aplicação da metodologia de Kaminski será parcial, pois adotaremos as quatro primeiras etapas propostas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Segundo Gil⁽⁷⁾ a pesquisa é compreendida como um processo formal e sistemático de desenvolvimento do método científico, cujo objetivo primordial é descobrir resposta para problemas mediante o emprego de procedimentos científicos.

No desenvolvimento deste projeto foi observado a necessidades de alimentação automática de um kit didático e aplicado etapas da metodologia de desenvolvimento de produtos para sua concepção e projeto. As etapas de trabalho contemplam:

- a) percepção das necessidades;
- b) geração de ideias;
- c) desenvolvimento de conceito;
- d) elaboração dos desenhos;
- e) construção de modelo físico; e
- f) realização de testes de funcionamento.

As atividades de estudo de viabilidade iniciaram com a correta percepção das necessidades envolvidas no desafio. A partir da interpretação correta das necessidades pode-se formular as exigências técnicas do problema e, com isso, fixar as características funcionais, operacionais e construtivas, bem como as limitações de projeto. Kaminski⁽⁴⁾, aborda uma técnica que auxilia nessa tarefa é olhar para o produto como um sistema que recebe entradas e gera saídas, elas sendo entradas e saídas desejadas ou não desejadas. A **Figura 2.** Análise sistemática das características

do produto representa essa técnica. Em seguida, a atenção da equipe passou a ser em gerar alternativas de solução.

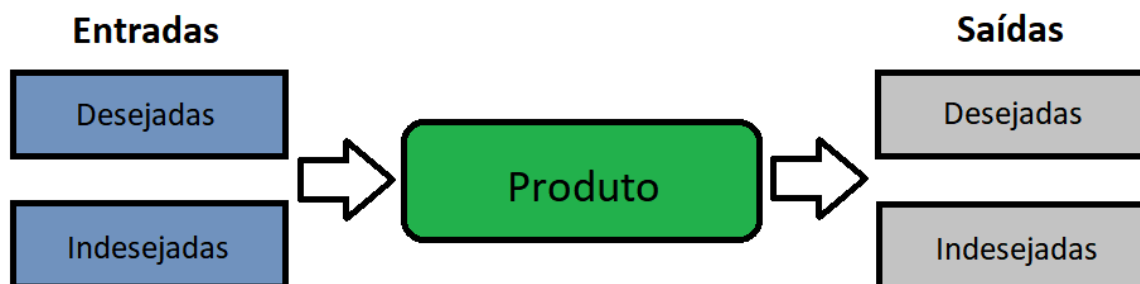


Figura 2. Análise sistemática das características do produto

Para a geração de alternativas a técnica de *Brainstorming* foi adotada. Baxter⁽⁸⁾ ressalta que está técnica é a mais conhecida nos espaços de desenvolvimento. Ela consiste em aplicar o conceito básico da criatividade, ou seja, gerar diversas ideias sobre possíveis soluções e então selecionar a melhor delas. Sua aplicação necessita de configuração de equipe, onde todos podem contribuir para a solução do problema. Um líder deve promover a atividade que possui duas etapas distintas. A primeira é a de geração de ideias e a segunda é de classificação/seleção das ideias geradas.

De posse das opções geradas iniciou-se a etapa de projeto básico. A escolha de uma alternativa de solução para ser aplicada no trabalho foi realizada e as atividades de construção dos desenhos iniciadas. O software de CAD SolidWorks foi a ferramenta aplicada para a realização dos desenhos e simulação dos movimentos.

Com o projeto concluído, foi planejada a fabricação do alimentador. Recursos de maquinário, ferramentas e materiais necessários, assim como os processos de fabricação envolvidos e as montagens foram definidos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente o levantamento das necessidades foi tratado. A caracterização do que se pretende com a desenvolvimento da solução foi o objeto de estudo. Chegou-se as seguintes necessidades para o alimentador do kit didático:

- Cumprir a função de alimentar o kit didático automaticamente na entrada do sistema;
- Utilizar as fontes de energia já disponíveis no kit didático;
- Ter boa aparência;
- Ter baixa manutenção;
- Ter baixo custo.

Com as necessidades já percebidas, procedeu-se a elaborar as especificações técnicas da necessidade.

Entradas	Produto	Saídas
Desejáveis <ul style="list-style-type: none"> • Energia • Sinal do sistema 	Alimentador automático	Desejáveis <ul style="list-style-type: none"> • Abastecimento de peças

<ul style="list-style-type: none"> Peças Indesejáveis Comando do usuário Materiais estranhos 		<ul style="list-style-type: none"> Ruído
---	--	---

Quadro 1. Análise de características.

Como requisitos técnicos, a proposição de alimentador deve possuir os seguintes requisitos:

Energia: ar comprimido ou elétrica;

Estrutura: rígida com predominância de aço;

Operação: apenas para abastecimentos;

Manutenção: baixo nível de manutenção e comm baixa complexidade.

Em direção ao desenvolvimento da solução a etapa de geração de ideias foi atingida. A equipe utilizou a técnica de *Brainstorming* e algumas proposições foram sugeridas. A sistematização das sugestões é apresentada através da Tabela 1. Geração de ideias.

Tabela 1. Geração de ideias.

Proposta	Energia	Atuador	Estrutura	Operação	Manutenção
1	Elétrica	Motor Elétrico	Acrílico	Por tempo	Motor / Sistema elétrico
2	Pneumática	Cilindro Pneumático	Aço	Por visor	Sistema pneumático
3	Elétrica	Motor elétrico	Aço	Por sinal sonoro	Motor / Sistema elétrico
4	Pneumático	Cilindro Pneumático	Aço	Por tempo	Sistema pneumático
5	Pneumático	Motor Pneumático	Aço	Por tempo	Motor / Sistema pneumático

Em seguida, a escolha da proposta dois foi realizada tendo em vista a aplicação dos critérios de classificação: Economia, simplicidade e aspecto construtivo. Uma escala direta de 1 a 3 foi aplicada e o somatório de pontos realizado para o ranqueamento. A sintetização da classificação é apresentada no Quadro 2. Classificação das propostas.

Proposta	Critério de Classificação			
	Economia	Simplicidade	Aspecto construtivo	Total
1	2	1	2	5
2	3	3	2	8
3	3	2	1	6
4	3	2	2	7
5	2	1	2	5

Quadro 2. Classificação das propostas.

O desenvolvimento do conceito e do projeto foi realizado por meio do software SolidWorks. As premissão para o desenvolvimento do projeto foram a simplicidade, a economia e a funcionalidade. A partir das dimensões do kit e das peças de trabalho foi realizado os desenhos preliminares do conjunto e dos componentes. A Figura 3.

Vista explodida. apresenta estas representações. Enquanto que a representação da imagem da proposta é realizada por meio da Figura 4. Imagem do alimentador.

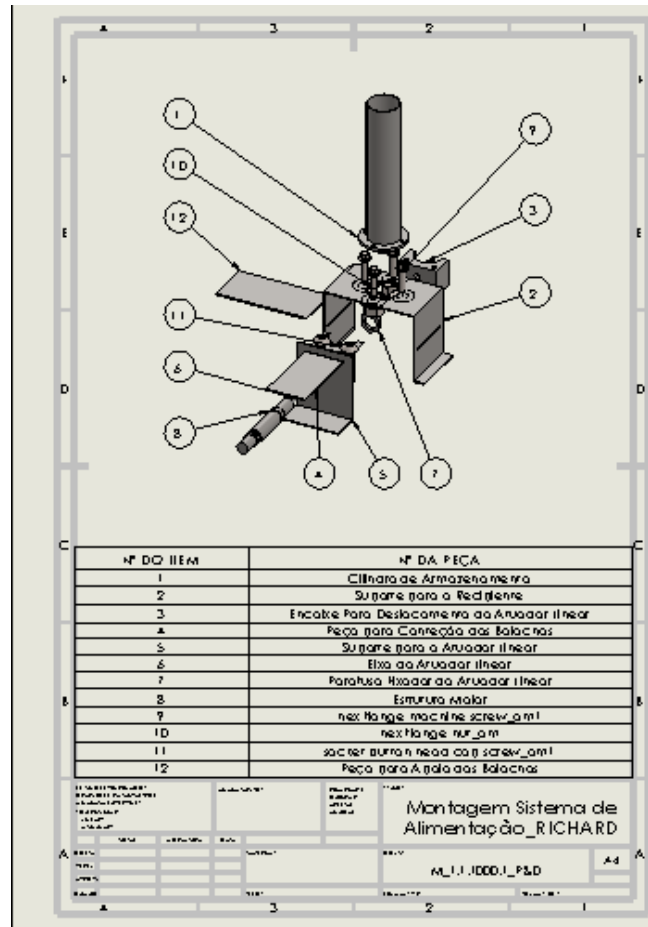


Figura 3. Vista explodida.

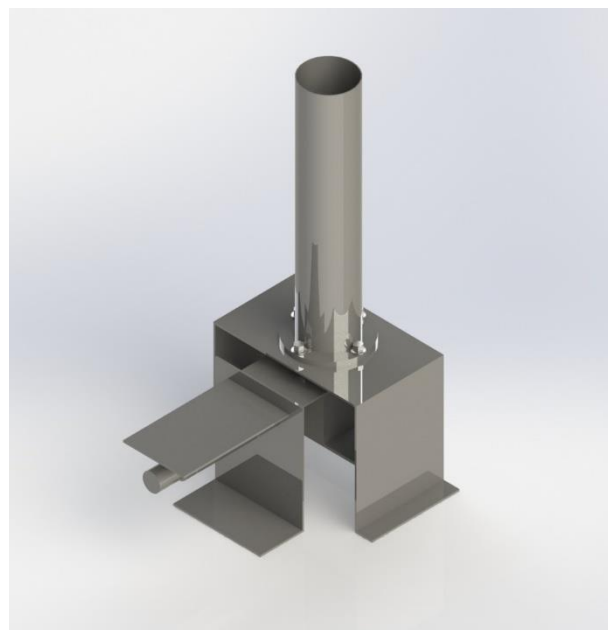


Figura 4. Imagem do alimentador.

Com os desenhos realizados e a simulação dos movimentos do mecanismos realizadas no software de CAD, possui-se a etapa de construção do modelo físico. As atividades de fabricação necessárias utilizam atividades em bancada e em máquinas. Tarefas como corte e dobra, bem como de usinagem foram aplicadas na fabricação das peças. Em seguida a montagem e os ajustes realizados em bancada. A representação abaixo, Figura 5. Protótipo do alimentador, traz a imagem do modelo fabricado.



Figura 5. Protótipo do alimentador.

Os testes de funcionamento ocorreram sem apresentarem maiores contratemplos, apenas ajustes de posicionamento do do cilindro foram realizados.

4 CONCLUSÃO

A motivação para realização deste desenvolvimento foi a vontade de aproximar o ambiente acadêmico do mundo do trabalho do profissional técnico. A partir da aplicação da metodologia de desenvolvimento de produtos uma sequencia metodologica para o desenvolvimento do alimentador foi assumida e, com isso, ferramentas técnicas aplicadas.

A etapa de geração de ideias promoveu momento de uso da criatividade dos envolvidos e foi espaço de aplicar a ferramenta *brainstorming*. Essa ferramenta é uma das mais utilizadas para busca por solução compartilhada de problemas no mundo do trabalho.

No desenvolvimento dos desenhos de projeto a ferramenta de software SolidWorks foi aplicada e pode ser experimentada pelos envolvidos. Também ela é destaque nos espaços de desenvolvimento de produtos industriais, sendo uma das ferramentas mais utilizadas em nível mundial.

Em relação ao modelo construído, pode-se, com a aplicação deste desenvolvimento, perceber a importancia de ter em mente os recursos disponiveis para fabricação do produto quando da proposição de solução. Essa visualização é importante pois possui

potencial para tornar a proposta viável ou não, podendo acarretar em prejuízos quando ignorada.

Agradecimentos

Agradecemos a Pró-reitoria de Pesquisa e Inovação do Instituto Federal Sul-rio-grandense pelo apoio no projeto de pesquisa Solução Didática de Integração de Processos Mecatrônicos e, dessa forma, pela contribuição nesse trabalho.

REFERÊNCIAS

1. ADÃO, Nilton Manoel Lacerda; RENGEL, Denise Maria. **Competências para uma Aprendizagem Significativa: Reflexões No Contexto Da Educação Profissional**. E-Tech: Tecnologias para Competitividade Industrial, Florianópolis, n. especial, Educação, p. 1-20, 2 ed., 2013.
2. DEMO, Pedro. **Pesquisa: Princípio Científico e Educativo**. 14 ed. São Paulo: Cortez, 2011.
3. PINTO, R. S.; RÊGO JUNIOR, R. A.; PINTO, A. B.; CÂMARA, R. A. D. S.; FONTENELLE, M. A. M. Usando uma metodologia de desenvolvimento de produto para o projeto do porta esmalte. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA REGIÃO NORDESTE, 6., 2011, Campina Grande. *Anais eletrônico...* Mossoró: UFERSA, 2011. Disponível em: http://www2.ufersa.edu.br/portal/view/uploads/setores/63/Artigos/SEPRONe%202011/SEPRONe_ST_20115651.pdf. Acesso em: 12/01/2018.
4. KAMINSKI, Paulo Carlos. **Desenvolvimento de Produtos com Planejamento, Criatividade e Qualidade**. Rio de Janeiro: LCT, 2008.
5. BACK, Nelson; OGLIARI, Angré; DIAS, Acires; DA SILVA, Jonny Carlos. **Projeto Integrado de Produtos: Planejamento, Concepção e Modelagem**. Barueri, SP: 2008.
6. VIEIRA, Antonio Ventriglia; FONTES, Andréa Regina Martins; BORRÁS, Miguel Ángel Aires; FERRARRINI, Cleyton Fernandes. **Modelo de referência para o desenvolvimento de produtos mecânicos**. Produto & Produção, vol. 17, n. 4, p. 62-79, dez. 2016
7. GIL, Antonio Carlos. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. São Paulo: Atlas, 1999.
8. BAXTER, Mike. **Projeto de Produto: Guia Prático Para o Design de Novos Produtos**. 3.ed. São Paulo: Blucher, 2011.

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA SECAGEM DE MISTURAS DE PROTEÍNA DE SOJA COM DIFERENTES PLASTIFICANTES NAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS.

Tessaro de Moraes, C.¹

Cofferi, P.²

Monticelli, B.³

Santana, R.M.C.⁴

¹ Mestranda, Charon Tessaro de Moraes, UFRGS, charon.tessaro@gmail.com

² Mestranda, Patrícia Cofferi, UFRGS, pcofferi@gmail.com

³ Graduanda, Bruna Monticelli, UFRGS, bruna.monticelli@yahoo.com

⁴ Prof. Dr^a, Ruth Marlene Campomanes Santana, UFRGS, ruth.santana@ufrgs.br

Resumo

A cada dia é mais crescente a necessidade e o interesse no desenvolvimento de embalagens mais competitivas e com um cunho ambiental. Por esse motivo, diversos estudos estão sendo feitos com o intuito de substituir polímeros sintéticos por polímeros naturais. Um exemplo é a proteína de soja, a qual possui características que a torna uma potencial base polimérica para a produção de filmes biodegradáveis. Porém, para se obter as propriedades necessárias em tais filmes, se faz necessário o uso de aditivos à matriz. Sendo assim, este trabalho teve como objetivo estudar o efeito da incorporação de diferentes plastificantes, em diferentes concentrações (60/40, 70/30 e 80/20) quando incorporados à matriz de proteína de soja e o efeito da secagem das misturas nas propriedades reológicas. Para tanto, foram utilizados dois tipos de proteína de soja: isolada (PSI) e concentrada (PSC), e dois tipos de plastificante: glicerol (Gli) e óleo de soja epoxidado (OSE). Primeiramente as proteínas foram plastificadas, com auxílio de câmara de misturas do tipo Haake gerando diferentes formulações que posteriormente foram prensadas, com auxílio de prensa hidráulica, para obtenção de lâminas. A caracterização das amostras foi feita através de ensaios reológicos (torque e energia). De acordo com as propriedades reológicas, foi possível verificar que o torque foi mais elevado, nas amostras plastificadas com Gli comparadas àquelas plastificadas com OSE, o que indica melhores propriedades mecânicas do material nesta condição.

Palavras-chave: biopolímeros, proteína de soja, plastificantes, óleo de soja.

INFLUENCE OF TEMPERATURE IN PROCESSING AND PROPERTIES OF BLADES BASED ON PLASTIFIED PROTEIN.

Abstract

The need and interest in the development of competitive and environmental friendly packages has increased rapidly. For this reason, numerous recent studies are aiming to improve natural polymers as an alternative to synthetic ones. One example is soybean protein, which presents characteristics with potential to be applied as a polymeric base in biodegradable films. However, in order to reach the required

properties in such films, different additives must be added to the polymer matrix. The aim of this work was to study the effect of the incorporation of different plasticizers in different concentrations (60/40, 70/30 and 80/20) when incorporated into the soy protein matrix, as well as the effect of the drying process on the rheological properties of the films. Two types of soy protein: isolated (PSI) and concentrate (PSC), and two types of plasticizers: glycerol (Gli) and epoxidized soybean oil (OSE) were used. First, different formulations with soy protein were produced with the aid of a Haake type mixing chamber, which were subsequently pressed with hydraulic press in order to obtain slides. The characterization of the samples was done through rheological tests (torque and energy). According to the rheological properties, it was possible to verify that the torque was higher in the samples plasticized with Gli compared to those plasticized with OSE, indicating the achievement of better mechanical properties of the material on this condition.

Key words: biopolymers, soy protein, plasticizers, soybean oil.

1 INTRODUÇÃO

Com o crescente aumento da população e, conseqüentemente, do consumo por produtos alimentícios, faz-se necessários maiores investimentos em artigos que visem conter e proteger os alimentos contra danos mecânicos e contaminação durante o marketing, as embalagens. Elas, normalmente produzidas em material termoplástico de origem não renovável, têm se tornado um artigo indispensável no dia-a-dia da população e isso tem causado grande preocupação devido ao fato desses materiais terem um longo período de decomposição quando dispostos de maneira incorreta no meio ambiente e por sua reciclabilidade ainda ser muito baixa. ¹

Nesse sentido, torna-se necessário investir em estudos que visem a produção de materiais de fonte renovável e que consigam competir em propriedades com os materiais tradicionais. Uma alternativa bastante promissora é a utilização de polímeros naturais ou biopolímeros ^{2,3} Estes materiais possuem inúmeras vantagens como, a biodegradabilidade, valor nutricional complementar, propriedades antimicrobianas e antioxidantes incorporadas, origem renovável, custo relativamente baixo, prevalência e o fato de não causarem impacto negativo no meio ambiente. ¹

Dentre os biopolímeros estudados estão as proteínas que podem ser obtidas de fontes animais (caseína, colágeno, soro do leite, etc) ou de fontes vegetais (glúten, zeína e soja). Estas possuem excelentes propriedades filmogênicas e de barreira a gases, tendo como destaque as proteínas de soja que, além disso, ainda produzem filmes com boa transparência, flexibilidade e maciez. ³

No entanto ainda há grande relutância quanto ao uso destes materiais devido às baixas propriedades mecânicas, alta sensibilidade a água e difícil processamento, tornando necessário o uso de aditivos no processo. ^{4,5}

Na tentativa de tornar possível o processamento destes materiais, são adicionados à matriz proteica, plastificantes, pois estes possuem a ação de diminuir as interações das ligações entre as moléculas do polímero, conhecidas por forças de Van der Waals e que conferem alta rigidez ao mesmo, tornando-o mais flexível e resistente a fratura, com menor estresse, dureza, viscosidade e carga eletrostática. Os plastificantes mais utilizados são aqueles que possuem estrutura semelhante a da proteína, neste caso, compostos contendo grupos hidroxila, como água, álcoois e, recentemente foram desenvolvidos como alternativas, plastificantes de origem

natural, os quais são matérias-primas atraentes para muitas aplicações industriais, pois são derivados de fontes renováveis, biodegradáveis, ecologicamente corretos, facilmente disponíveis, possuem baixa toxicidade e baixa migração e podem ser produzidos em grandes quantidades a um custo competitivo. ⁶

Um exemplo de álcool é o glicerol (Gli), o qual possui estrutura molecular pequena e natureza hidrofílica, o que o torna compatível com moléculas de proteína. Sua estrutura molecular possui três hidroxilas, conforme figura 1, capazes de interagir com a estrutura proteica. ^{5,7,8,9}

No caso dos plastificantes naturais podem ser citados os óleos vegetais de triglicerídeos epoxidados de óleo de soja, óleo de linhaça, mamona, óleo de girassol e ésteres de ácidos graxos. O óleo de soja epoxidado (ESO) é um composto epóxi de baixo custo, derivado de um recurso renovável e um dos óleos epoxidados mais utilizados hoje em dia principalmente como aditivo de cloreto de polivinila, mas também é utilizado como material de partida para a produção de espuma de poliuretano e poliól e como um aditivo para PLA e PET, a fim de melhorar seu processamento e propriedades reológicas. ^{10, 11, 12,13} Existem trabalhos que utilizam este plastificante como aditivo ou modificador de biopolímeros a base de amido, porém ainda não há relatos do uso de OSE como modificador de biopolímeros a base de proteína de soja.

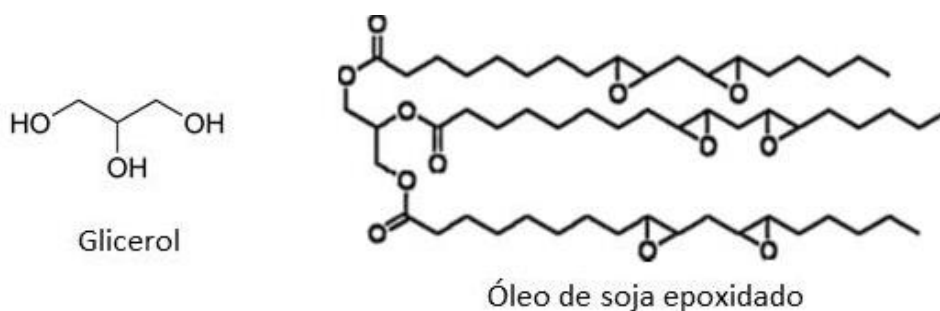


Figura 1. Estruturas moleculares dos plastificantes Glicerol e Óleo de soja epoxidado, respectivamente.

Desta forma, este trabalho traz como objetivo estudar o efeito nas propriedades reológicas, de dois plastificantes diferentes, Gli e OSE, em matriz de PSI e PSC, assim como a influência da secagem dessas misturas, em três diferentes concentrações de proteína (60%, 70% e 80%), prévia ao processamento.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MATERIAIS

Para a preparação das formulações foram utilizadas dois tipos de proteína de soja, isolada e concentrada, gentilmente fornecidas pelo ©Grupo Bremil, agente plastificante glicerol (Dinâmica LTDA®) e agente plastificante óleo de soja epoxidado gentilmente fornecido pela empresa SGS do Brasil LTDA.

2.2 PROCESSAMENTO

O estudo foi desenvolvido em etapas, sendo que na primeira foram elaboradas formulações PSI/Gli, PSC/Gli, PSI/OSE e PSC/OSE, sendo cada uma

delas elaboradas nas proporções mássicas de 60/40%, 70/30% e 80/20%. O processo de mistura ocorreu em câmara de misturas do tipo Haake sob temperatura ambiente, velocidade de rotação dos rotores de 60rpm, por um tempo de mistura de seis minutos, sendo que, cada formulação foi processada de duas maneiras diferentes: em uma delas a mistura ainda úmida foi adicionada diretamente na câmara (PSlu-Gli, PSCu-Gli, PSlu-OSE e PSCu-OSE) e na outra foi previamente seca para ser adicionada na câmara, em estufa por 24horas a 60°C (PSIs-Gli, PSCs-Gli, PSIs-OSE e PSCs-OSE) conforme esquema representado na figura 2.

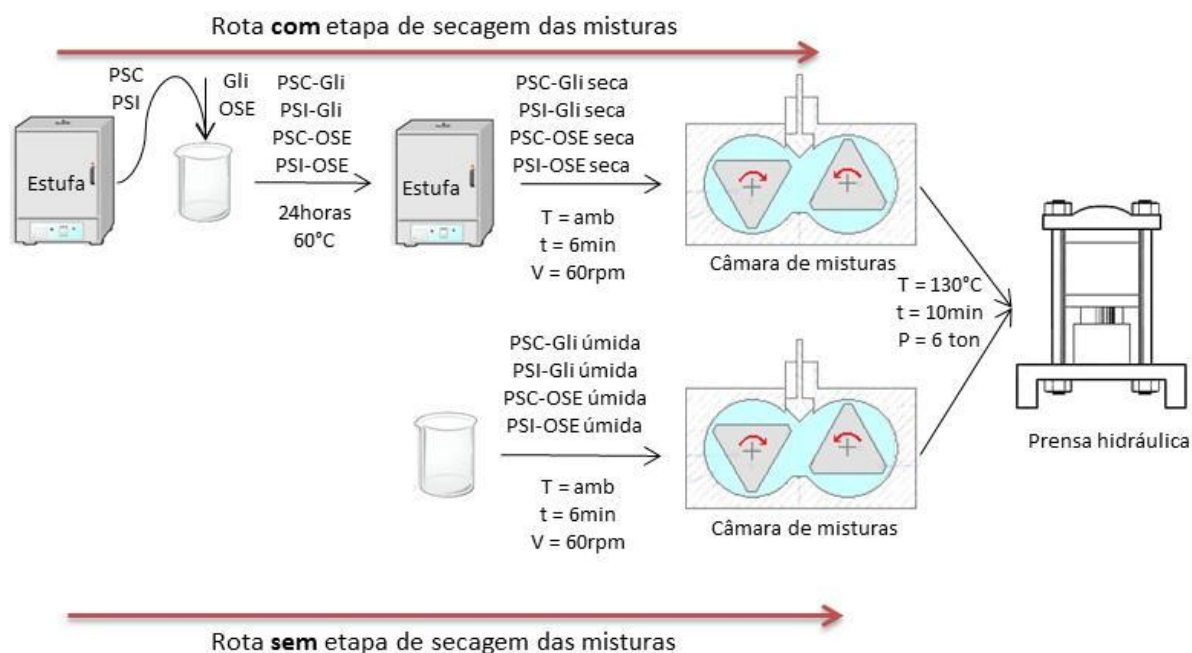


Figura 2. Esquema dos diferentes métodos de processamento, com e sem o processo de secagem.

2.3 CARACTERIZAÇÃO

Foram avaliadas as propriedades reológicas dos novos materiais através de curvas plotadas com base nos dados de torque, obtidos no software do equipamento durante o processamento das misturas, e através do cálculo da energia absorvida pelo material durante o processo, obtido pela resolução da equação da energia mecânica específica (SME) abaixo:

$$SME = 2\pi N/m \int C(t) dt \quad \text{Equação 1}$$

Onde N é a velocidade de rotação (rpm), m é a massa total de mistura adicionada a câmara (g), t é o tempo de processamento (min) e C(t) é o torque total produzido durante o tempo de processamento (Nm). A SME é expressa em kJ/Kg.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fim de analisar as propriedades reológicas dos materiais produzidos, foi feito um acompanhamento da elevação do torque em relação ao tempo de mistura e da energia requerida para homogeneização das misturas obtida através da equação

1 citada anteriormente. Os valores de torque, tempo, massa de amostra processada e velocidade de rotação foram fornecidos pelo software do equipamento. Os dados obtidos foram plotados em gráficos para facilitar a avaliação e podem ser observados nas figuras 3 e 4.

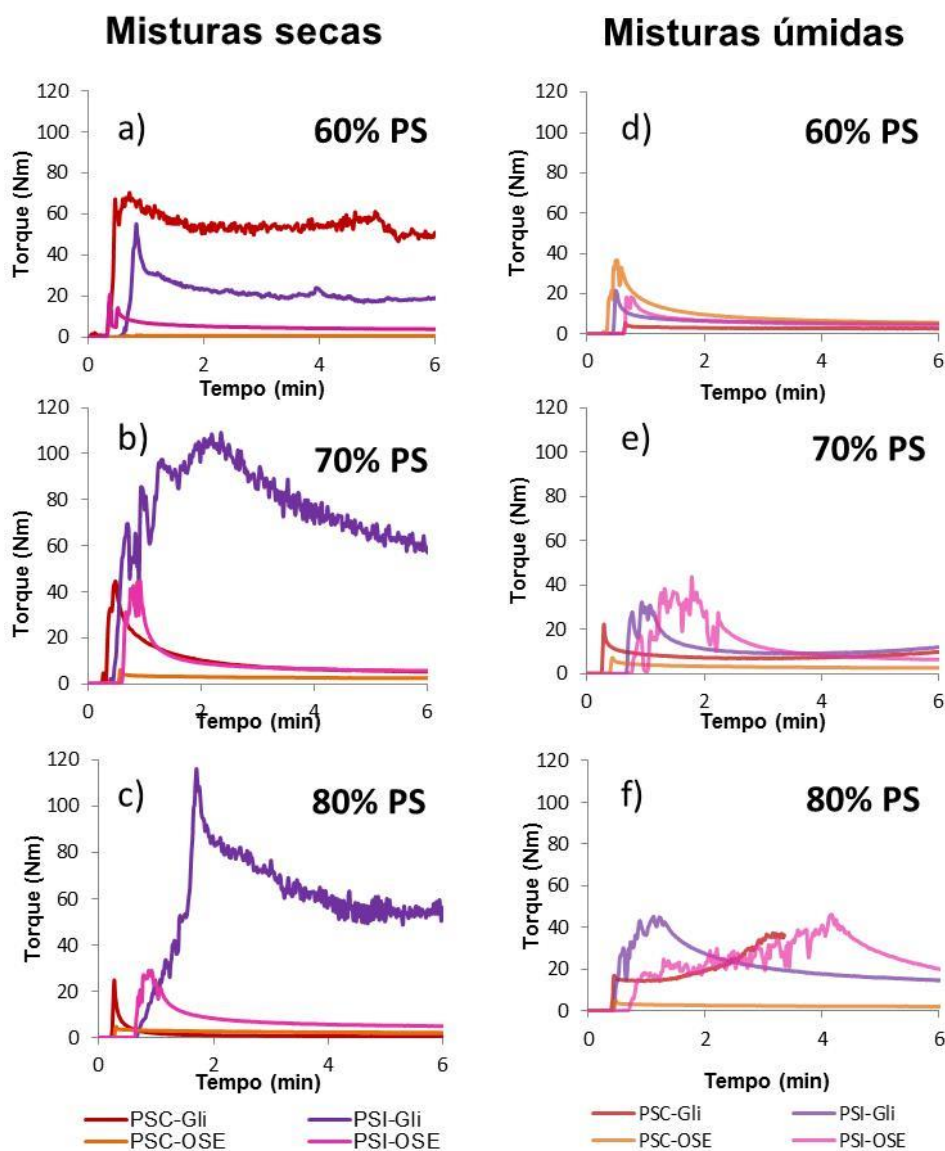


Figura 3. Curvas de torque *versus* tempo das amostras de PSI-Gli, PSC-Gli, PSI-OSE e PSC-OSE: a) Mistura seca com 60% de PS; b) Mistura seca com 70% de PS; c) Mistura seca com 80% de PS; d) Mistura úmida com 60% de PS; e) Mistura úmida com 70% de PS e f) Mistura úmida com 80% de PS.

Observando as curvas da figura 3 percebe-se que há uma atuação diferente de cada plastificante, em ambas as matrizes, dependendo das condições de processo (com ou sem etapa de secagem). O Gli, de forma geral, apresentou melhor desempenho em ambas as matrizes quando foi aplicada a etapa de secagem, diferentemente do OSE que na maior parte dos casos estudados apresentou resultados levemente melhores nas formulações onde havia presença de água. No caso do Gli, este efeito pode ser explicado pelo fato de ele ter uma molécula pequena e facilmente conseguir penetrar entre as cadeias das proteínas, porém na presença da água isso não ocorre tão facilmente devido a concorrência com as moléculas de água que também agem como plastificante. ^{5,7,8,9} O OSE, por sua vez,

possui uma molécula muito grande, comparada a molécula do Gli, o que dificulta a sua penetração entre as cadeias das proteínas, atuando mais como um agente solvatante, e em presença de água esse efeito se intensifica, pois ele acaba tendo maior afinidade com a água, mais disponível, do que com as cadeias proteicas. ^{10, 11, 12,13}

O mesmo pode ser observado ao analisar os dados da SME, onde na maior parte dos casos as amostras com OSE necessitaram maior energia para serem processadas com a presença da água (sem secagem prévia), confirmando os resultados do torque.

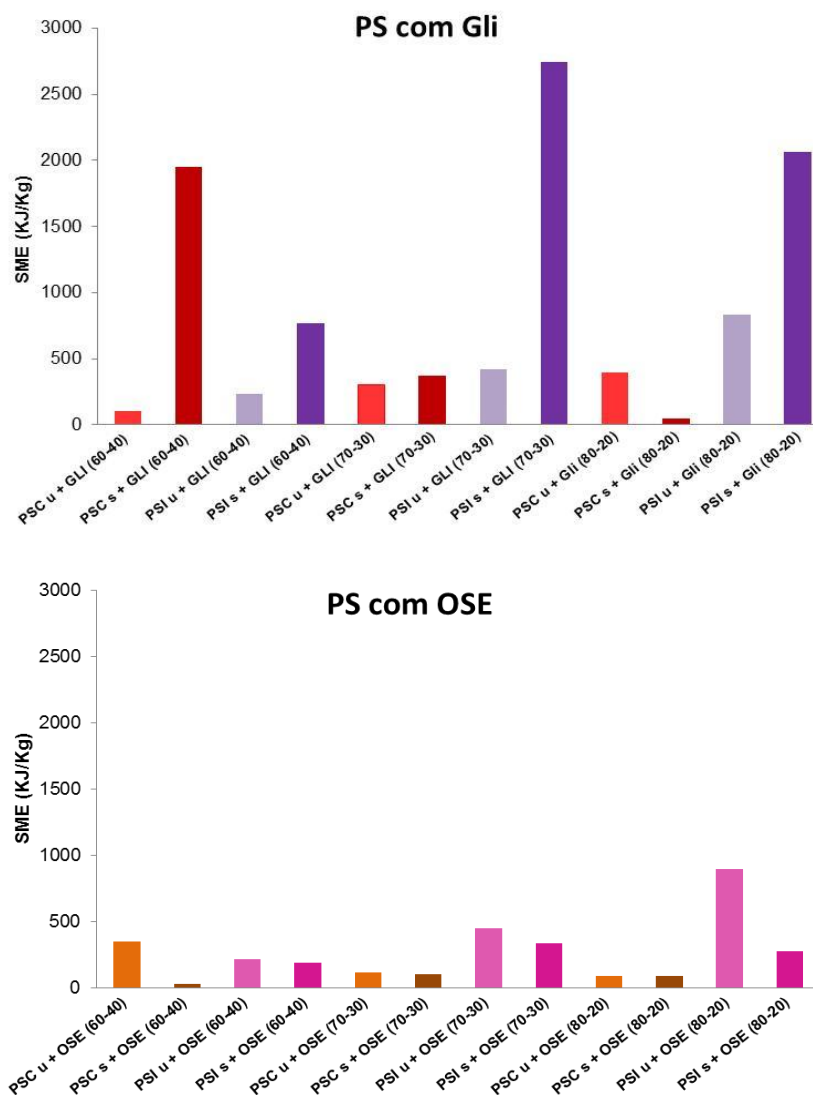


Figura 4. SME para as amostras contendo: a) Gli e b) OSE.

4 CONCLUSÃO

Resultados desse estudo levaram as seguintes conclusões: o tamanho e a estrutura química do plastificante influenciaram no comportamento reológico das amostras de proteínas e a prévia secagem delas demonstrou comportamentos opostos em relação à energia necessária para seu processamento.

Agradecimentos

- À UFRGS pelo auxílio concedido;
- À CAPES pela bolsa concedida;
- À SIBRATEC pelo patrocínio concedido ao LAPOL;
- Às empresas SGS e BREMIL pelo fornecimento das matérias-primas.

REFERÊNCIAS

- 1 RYDZ, J.; MUSIOL, M.; ZAWIDLAK-WęGRZYńska, B. Present and Future of Biodegradable Polymers for Food Packaging Applications.. **Biopolymers for Food Design**, 2018.
- 2 SIRACUSA, V. et al. Biodegradable polymers for food packaging: a review. **Food Science e Technology**, v. 19, p. 634-643, 2008.
- 3 SUN, X. S. Bio-Based Polymers and Composites. **Elsevier Science & Technology Books**. , p. cap 9, 292-323.
- 4 RHIM, J.-W. E. A. Preparation and Properties of Biodegradable Multilayer Films Based on Soy Protein Isolate and Poly (lactide)., p. 3059–3066, 2006.
- 5 SONG, F. . T. D. . W. X. E. W. Y. Biodegradable soy protein isolate-based materials: A review. **Biomacromolecules**, 2011.
- 6 BÉTRON, C. et al. Diffusion of modified vegetables oils in thermoplastic polymers. **Materials Chemistry and Physics**, v. 200, p. 107-120, 2017.
- 7 KOKOSZKA, S. E. A. Protein and glycerol contents affect physico-chemical properties of soy protein isolate-based edible films. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 11, n. 3, p. 503–510, 2010.
- 8 WANG, S. . S. H. J. . E. J. J. Effects of Polyhydric Alcohols on the Mechanical Properties of Soy Protein Plastics. **J. Micromol. Sci. Pure Appl. Chem.** , v. A33:, p. 557–569, 1996.
- 9 GUILBERT, S. E. C. B. **Handbook of Biodegradable Polymers**. Shawbury, Shrewsbury, Shropshire, SY4 4NR: UK Rapra Technology Limited., 2005.
- 10 BELHASSEN, R. et al. Thermoplasticized starch modified by reactive blending with epoxidized soybean oil. **Industrial Crops and Products**, v. 53, p. 261-267, 2014.
- 11 JAPON, S. . B. L. . L. Y. . M. J. A. E. Reactive processing of poly (ethylene terephthalate) modified with multifunctional epoxy-based additives. **Polymer**, v. 41, p. 5809–5818, 2000.

EFEITO DA CORRENTE DE AR DURANTE O PROCESSO DE SOLDAGEM FCAW-S SOBRE A MICROESTRUTURA E DUREZA DOS CORDÕES DE SOLDA.

Wolfart Junior, M.¹
Fogliatto, A. A. B.²
De Souza, T, F.³
Turra, C, J.⁴

- ¹ Doutor, Mario Wolfart Junior, Instituto Federal Catarinense, mario.wolfart@ifc.edu.br
² Doutor, Aloysio Arthur Becker Fogliatto, Instituto Federal Catarinense, alloysio.fogliatto@ifc.edu.br
³ Doutor, Tomaz Fantin De Souza, Instituto Federal Sul-rio-grandense, tomazfs@yahoo.com.br
⁴ Graduando, Cristiano José Turra, Instituto Federal Catarinense, cristianojturra@gmail.com

Resumo

A soldagem em campo é restrita à velocidade do vento. O efeito do vento é prejudicial ao processo, pois compromete a resistência e qualidade da junta soldada. A taxa de resfriamento do cordão é crítica, pois é nessa etapa que acontece as mais importantes transformações microestruturais nos aços. De forma geral, o ciclo térmico de soldagem é quem dita as características e propriedades do cordão de solda, principalmente a tenacidade e dureza. Desta forma, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito da corrente de ar sobre a dureza e microestrutura, em corpos de prova ASTM A36 (ASTM, 2012), soldados pelo processo arame tubular auto protegido (FCAW-S Self-Shielded Flux-Cored Arc Welding), em diferentes velocidades de corrente de ar. Foi realizada análise visual, análise micrográfica e dureza Brinell nos cordões de solda, que comprovaram a inexistência de descontinuidades que desqualificam a junta soldada.

Palavras-chave: Vento. FCAW-S. Microestrutura. Dureza.

EFFECT OF THE AIR CURRENT DURING THE WELDING PROCESS FCAW-S ON THE MICROSTRUCTURE AND HARDNESS OF THE WELD BEAD.

Abstract

The open air welding depends of the wind speed. The wind effect is harmful to the process, because it commits the resistance and the quality of the melted joint. The weld cooling rate is critical, because in this stage are the most important microstructural transformations in steels. Usually, the weld thermal cycle shows the welding characteristics and properties, mainly the hardness and tenacity. This way, this work had as objective, to evaluate the wind effects in the hardness and microstructures in ASTM A36 (ASTM, 2012) samples, welded by Self protected wire welding (FCAW-S Self-Shielded Flux-Cored Arc Welding), in different wind speeds. It was made the visual analysis, metallographic analysis and Brinell Hardness on the weld region, that proves the absence of failures that harms the welded joint.

Key words: Wind. FCAW-S. Microstructure. Hardness.

1 INTRODUÇÃO

A soldagem em campo aberto é comum em diversas atividades que, devido ao tipo, porte ou aplicação, não é possível realizar em locais isolados de intempéries. O vento, por exemplo, é uma condição na soldagem em campo e restringe o tipo de processo que tem melhor performance, já que alguns processos suportam velocidades de ventos superiores a outros. A falha na proteção da poça fundida gera instabilidade no arco elétrico, que por sua vez gera porosidades, rechupes, trincas e inclusões. Além disso, a troca de calor e o resfriamento do cordão de solda com o ambiente é muito maior sob correntes de ar do que em ambientes sem perturbações.

O tempo de resfriamento influi diretamente na microestrutura da junta soldada (LESSA, 2010; MOOJEN et al, 2015). Taxas de resfriamento muito baixas promovem a formação de grãos grosseiros, e taxas de resfriamento muito elevadas promovem alta dureza e microestruturas características de baixa temperatura de transformação (RADAJ, 1992). O resfriamento acelerado do metal líquido, como no caso da soldagem em velocidades de vento elevadas, pode causar uma camada solidificada na superfície do cordão, impedindo a evolução dos gases presentes na poça fundida (FEMA, 2000).

As soldagens realizadas sob ação de ventos de velocidade superior à 0,3 m/s ($\approx 1,1$ km/h), podem causar ondulações na superfície e sensibilidade no arco, além de contaminação do depósito de solda (RADAJ, 1992). O cordão de solda pode absorver o nitrogênio do ar atmosférico, causando a diminuição da resistência e dureza do cordão (FEMA, 2000), além de porosidade e rechupes (LESSA, 2010). Apesar das indicações para não realizar soldagens em locais com velocidades de vento superiores a 0,3 m/s, vários estudos indicam que os processos suportam velocidades de vento superiores à recomendada (VILARINHO, 2013). Os processos MIG/MAG (GMAW - Gas Metal Arc Welding) e arame tubular (FCAW-G - Gas Shielded Flux Cored Arc Welding), para correntes de ar com velocidade de 1 m/s (3,6 km/h), apresentam grande quantidade de poros (FEMA, 2000), além de diminuir a tenacidade com o aumento da velocidade do vento (BONISZEWSKI, 1992).

O processo eletrodo revestido (SMAW - Shielded Metal Arc Welding), quando submetido a velocidades de vento de 4,5 m/s (16,2 km/h), produz soldas com durezas significativamente inferiores quando comparadas com soldas realizadas sem o efeito da corrente de ar (FEMA, 2000). A velocidade máxima de vento suportada pelo processo SMAW sem que ocorra defeitos no cordão é de 4 m/s (14,4 km/h) (SOUZA et al, 2013).

O processo arame tubular auto protegido (FCAW-S Self-Shielded Flux-Cored Arc Welding), que faz a proteção da poça fundida através da queima do fluxo interno sem gás de proteção adicional, é indicado para soldagem em campo e apresenta características de resistência ao vento superiores aos demais processos. Estudos revelam que o processo FCAW-S suporta velocidades de corrente de ar de 5 m/s (18 km/h) (SOUZA et al, 2013).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Preparação do Corpo de Prova

O tipo de Metal de Base (MB) escolhido é um aço ASTM A36 (ASTM, 2012), de espessura 3/8" e comprimento de 200 mm, que é muito utilizado para construção

de estruturas metálicas e na soldagem em campo de forma geral. Foi usinado um chanfro de 60° (bisel de 30°), nas chapas de soldagem para obter a penetração total na junta. A posição de soldagem utilizada é a plana 1G, que apresenta maior facilidade no processo de soldagem. A Figura 1 representa o formato e as dimensões da junta e das chapas para soldagem.

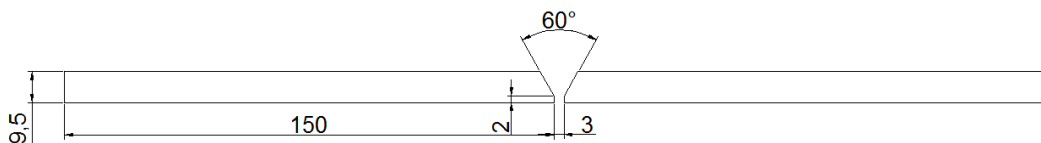


Figura 1. Corpo de prova. Escala em milímetros.

O consumível utilizado é o AWS E71T-11 (AWS, 1996), de 1,6 mm de diâmetro, que utiliza como meio de proteção da poça fundida a queima do fluxo interno sem adição de gás. Esse tipo de consumível foi escolhido por ser um dos mais utilizados e próprios para a soldagem estrutural e por ser aplicável em todas as juntas, além de ser compatível com o metal de base.

2.2 Equipamento para Fixação das Chapas a Serem Soldadas.

Foi utilizado um dispositivo para a fixação das chapas para a soldagem com o objetivo de impedir que, durante o teste, as chapas se movimentassem devido à dilatação promovida pela geração de calor através do arco.

2.3 Equipamento para Geração de Corrente de Ar.

Para a geração de corrente de ar foi utilizado um exaustor de ar conectado a um inversor de frequência para ajustar a velocidade desejada. A medição e controle da velocidade da corrente de ar simulada, foi realizada através de um anemômetro digital. Foram realizadas medições das velocidades do ar antes, durante e depois da soldagem para garantir a velocidade desejada.

2.4 Definição dos Parâmetros de Soldagem.

Os parâmetros de soldagem foram definidos através das recomendações especificadas pelo fabricante do consumível, da revisão bibliográfica (FEMA, 2000; SOUZA, 2013), dos testes preliminares e condições de soldagem (formato e dimensões da junta). Os parâmetros escolhidos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros de soldagem utilizados na soldagem das chapas.

Velocidade da corrente de ar (m/s)	Corrente Raiz (média) (A)	Corrente Preenchimento (média) (A)	Tensão Raiz (V)	Tensão Preenchimento (V)	Polaridade (raiz e preenchimento)	Temp. Ambiente (°C)
0 m/s	125	125	18	18,5	CC-	19
2 m/s	120	125	18	19	CC-	19
3,5 m/s	115	120	19	19	CC-	20
5 m/s	120	110	19	19	CC-	23

2.5 Soldagem dos Corpos de Prova.

Foram utilizadas três juntas de solda para cada teste realizado, para se garantir a repetitividade dos ensaios e diminuir possíveis erros de interpretação de resultados. As soldagens foram realizadas em local fechado, para que se obtivesse total controle das correntes de ar que age na região do cordão de solda. A limpeza superficial da junta antes da soldagem foi realizada através do lixamento da superfície, de forma que não se tenha imperfeições como rebarbas, poeiras, resíduos, carepas e oxidação.

Para a soldagem, as chapas foram presas no equipamento de fixação conforme o item 2.2, de forma que, uma vez fixas, elas são movimentadas somente após o teste ter acabado. A corrente de ar gerada foi direcionada para a região de soldagem, sendo que sua velocidade atingiu a desejada. A Figura 2 apresenta o esquema de soldagem simulando correntes de ar.

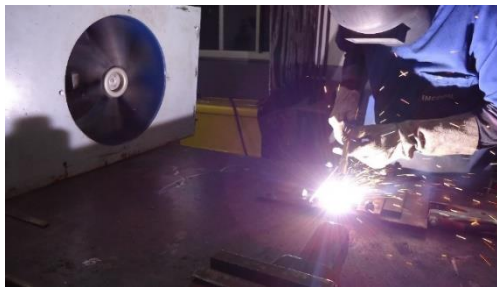


Figura 2. Sistema de soldagem. Corrente de ar agindo no sentido transversal ao sentido de soldagem.

A soldagem foi realizada com uma fonte Hylong MIG-400, em dois passes (raiz e preenchimento). A recomendação (MACHADO, 1996) relacionada ao processo FCAW-S foi utilizada para a soldagem das chapas do presente estudo.

2.6 Ensaios.

Para verificação da qualidade do cordão de solda foi realizada a inspeção visual e a análise química da junta soldada, com objetivo de verificar a perda de algum elemento ou a existência (ou não), de defeitos como porosidade, acabamento e respingos, na superfície do cordão. Basicamente, nesta análise avalia-se, em um primeiro momento, se o cordão de solda está com boa ou má qualidade.

Para a verificação da influência da corrente de ar na microestrutura do cordão de solda foi realizada a análise micrográfica, com o objetivo de avaliar a mudança (ou não), da microestrutura na Zona Termicamente Afetada (ZTA) e Zona Fundida (ZF), com as respectivas velocidades de vento estudadas. Como referência para a análise, foi utilizada a norma ASTM E3 (ASTM, 1995), referente a preparação metalográfica.

Para relacionar a dureza com a microestrutura e conseqüentemente com o efeito da velocidade da corrente de ar, foi realizado o ensaio de dureza Brinell. Para isso, foi utilizado como referência principal a norma ASTM E10 (ASTM, 2001). O perfil de dureza foi realizado de acordo com a Figura 3, que indica os pontos de penetração do indentador nas diferentes regiões da junta soldada.

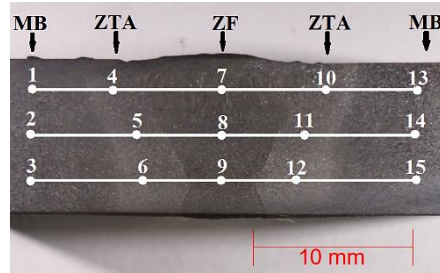


Figura 3. Perfil de dureza Brinell utilizado nos corpos de prova. Fonte: Próprios Autores.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise Visual e Análise Química

A inspeção visual mostrou que os testes realizados sem correntes de ar, apresentam alguns respingos e acabamento superficial regular (Figura 4). Para os testes simulando correntes de ar de 2 m/s (7,2 km/h), notou-se um aumento de respingos, porém o acabamento superficial e a penetração não se modificaram (Figura 4).

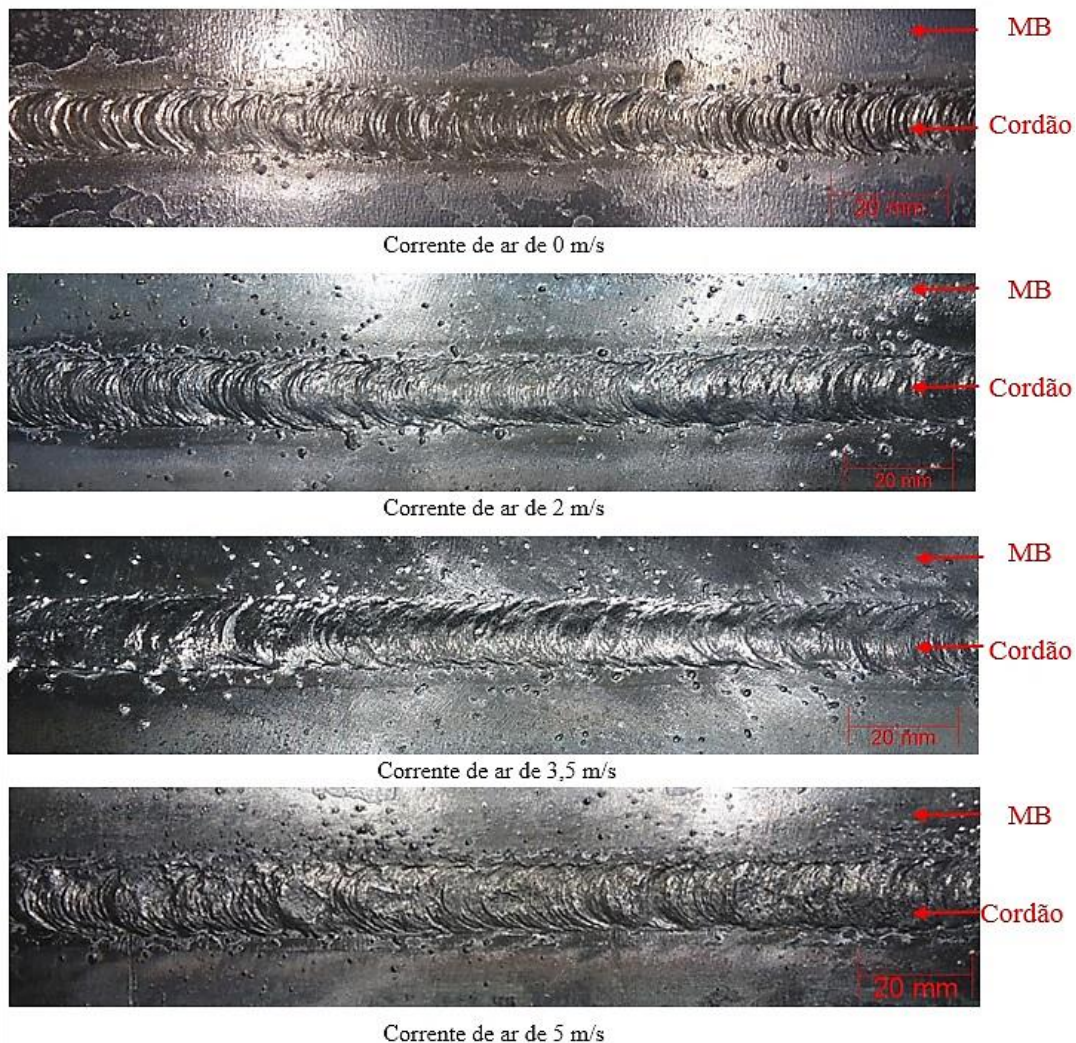


Figura 4. Superfície dos cordões de solda realizados em diferentes velocidades de corrente de ar. Fonte: Próprios Autores.

Os cordões de solda submetidos a correntes de ar de velocidade 3,5 m/s (12,6 km/h), demonstraram alterações na superfície do cordão. O acabamento superficial do cordão apresentou ondulações e variações de deposição de material, assim como maior quantidade de respingos (Figura 4). Cordões de solda realizados sob velocidade de vento simulada de 5 m/s (18 km/h), apresentam acabamento superficial de má qualidade, com ondulações superficiais e maior quantidade de respingos (Figura 4). Esses defeitos encontrados nesta condição de soldagem também são descritos em outros estudos (SOUZA et al, 2013). Em nenhum dos cordões foi observado mordeduras. A Tabela 2 apresenta a análise química (% em massa) através de espectrometria de emissão óptica no Metal de Base (MB) e Metal de Solda (MS) para a condição de inexistência de corrente de ar, e a composição especificada do arame consumível.

Tabela 2. % em massa de elementos de liga no MB e MS.

Elemento	MB	DESV. PAD.	MS	DESV. PAD.	AC
C	0,094	0,012	0,209	0,003	0,25
Mn	0,459	0,010	0,526	0,005	0,7
Si	0,216	0,025	0,25	0,004	0,4
Cr	0,006	0,003	0,018	0,002	-
P	0,018	0,003	0,013	0,002	-
S	0,007	0,001	0,001	0,001	-
Cu	0,011	0,001	0,017	0,001	-

Como esperado, conforme a especificação do consumível, a ZF apresentou mais elementos de liga, como C e Cr, em relação ao metal de base. Porém, as faixas de elementos não tiveram grandes alterações.

3.2. Micrografia.

Foi realizada a análise micrográfica da Zona Termicamente Afetada (ZTA), Metal de Base (MB), e Zona Fundida (ZF) do passe raiz e preenchimento. A Figura 5 apresenta ferrita (regiões claras) na forma primária (FP) na ZTA. Pode ser observado que, com o aumento da velocidade de vento, a microestrutura se torna mais refinada quando comparada com velocidades inferiores, como já é citado em outros estudos (LESSA, 2010; MOOJEN et al, 2015). Em comparação com o MB, os grãos apresentam menor tamanho.

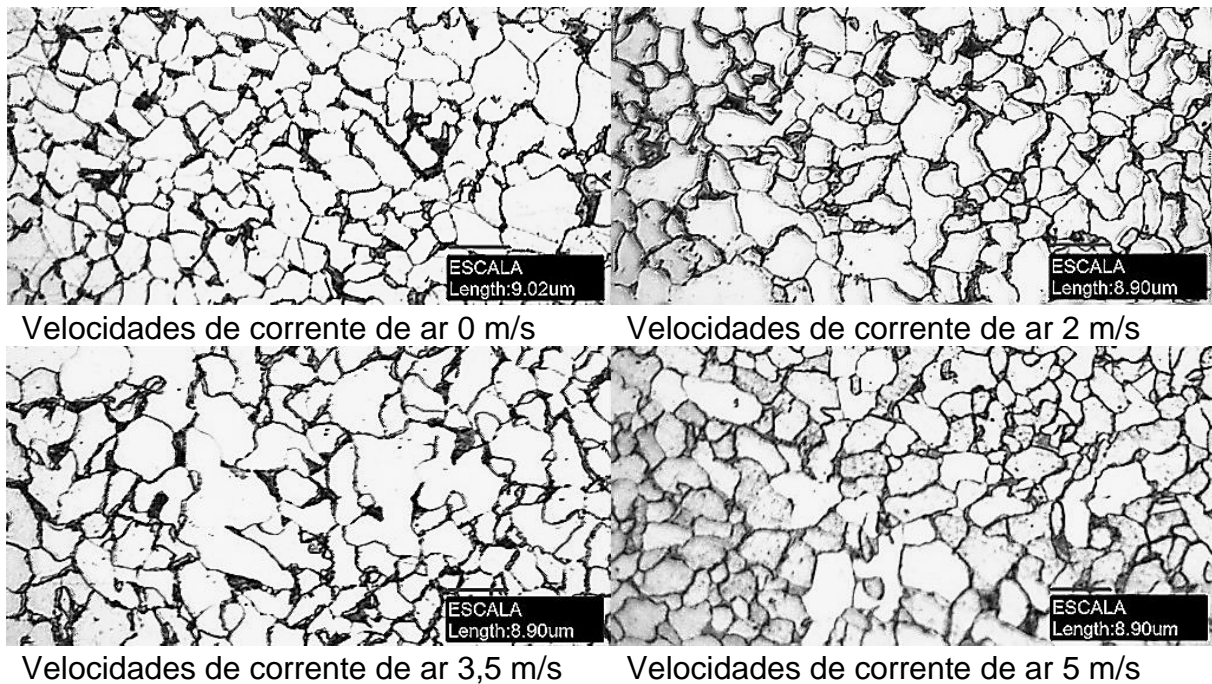


Figura 5. Microestrutura da Zona Termicamente Afetada em diferentes velocidades de vento. Apresenta basicamente FP. Aumento de 500X. Ataque Nital 2%.

A Figura 6 apresenta a microestrutura do passe raiz dos cordões realizados em diferentes velocidades de corrente de ar. Devido ao segundo passe, o passe raiz apresentou uma microestrutura com grãos refinados. O refino de grão foi maior conforme o aumento da velocidade de vento. O resfriamento mais rápido do metal aumenta a convecção e conseqüentemente impede o crescimento de grão. Nessa região, em condições de velocidades de corrente de ar, ainda é possível observar a formação de sub-grãos, provavelmente devido a plastificação (LESSA, 2010).

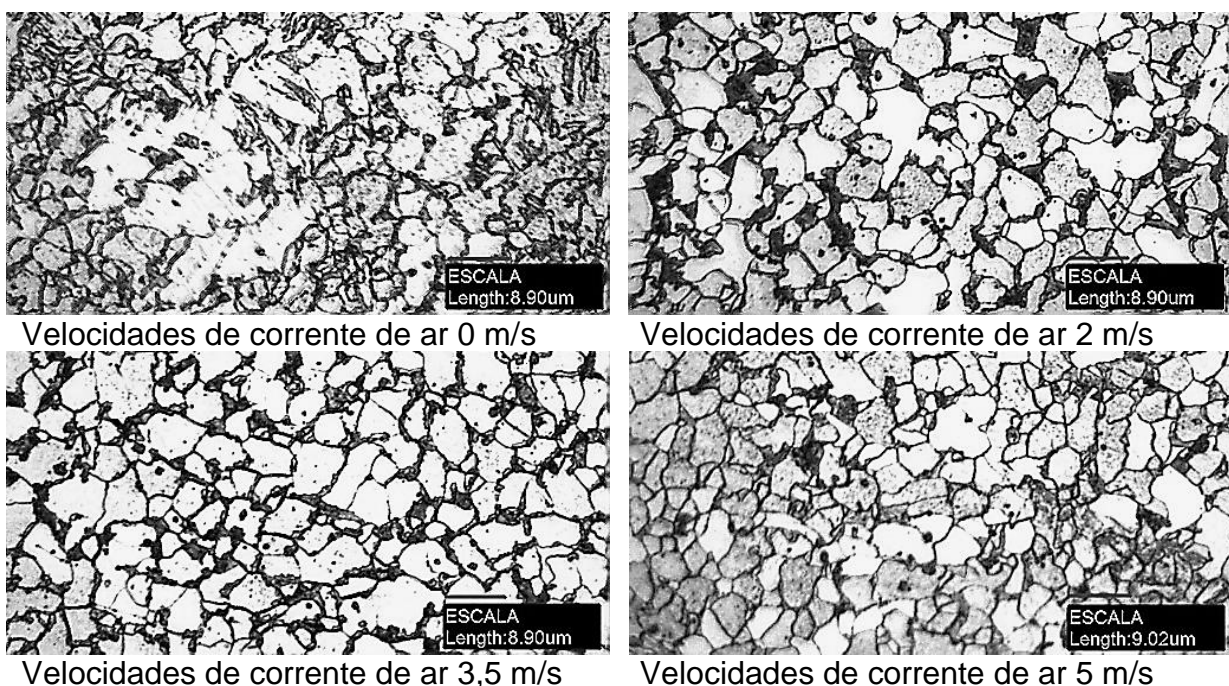


Figura 6. Microestrutura da Zona Fundida do passe raiz em diferentes velocidades de vento. Apresenta FP refinada pelo passe posterior. Aumento de 500X. Ataque Nital 2%.

A Figura 7 mostra a microestrutura da ZF dos cordões realizados em diferentes velocidades de vento. Para esta região, como esperado, a microestrutura se apresenta na forma de ferrita acicular (FA), ferrita primária (FP), ferrita secundária alinhada (FSA).

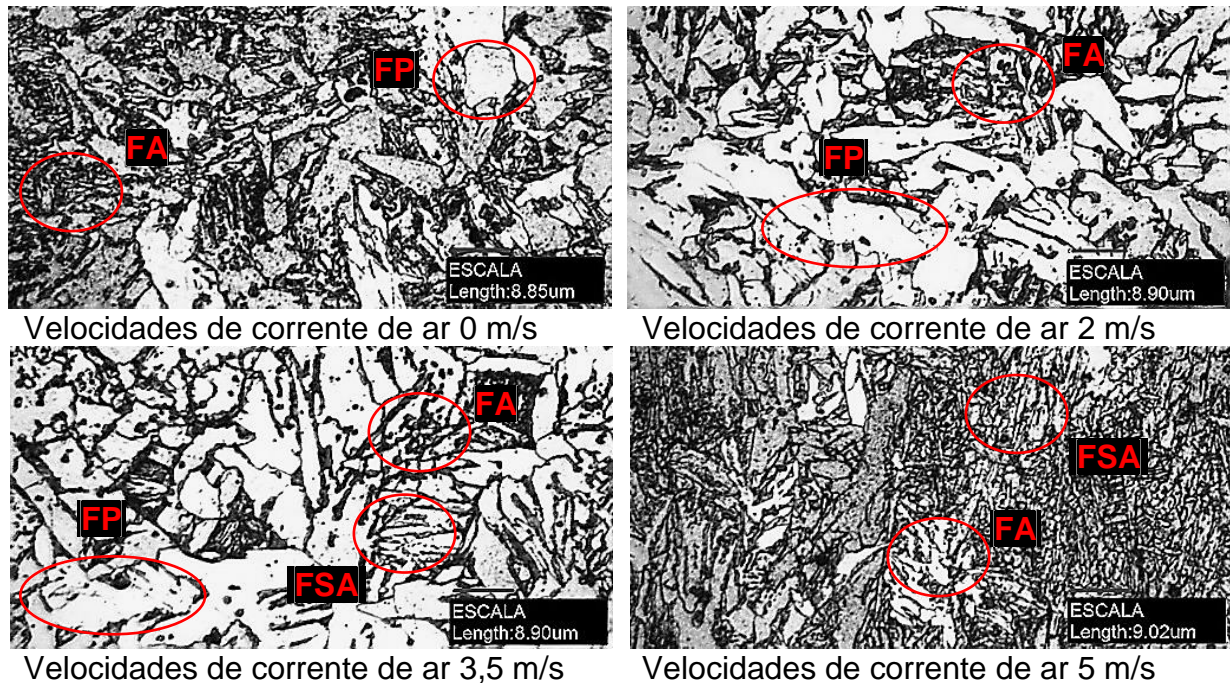


Figura 7. Microestrutura da Zona Fundida do passe preenchimento em diferentes velocidades de vento. Apresenta FP, FA e FSA. Aumento de 500X. Ataque Nital 2%.

De forma geral, a análise micrográfica não revelou a presença de discontinuidades ou defeitos no cordão de solda e grandes alterações na microestrutura, comprovando a resistência na proteção da poça fundida contra correntes de ar no processo de soldagem FCAW-S.

3.3. Dureza Brinell.

Foram realizadas medições de dureza em quinze pontos, em três corpos de prova para cada velocidade de corrente de ar, a fim de identificar o efeito do aumento da velocidade de corrente de ar na dureza. Foi utilizado uma esfera de diâmetro 2,5 mm e carga 187,5 kgf. É perceptível que com o aumento da velocidade de vento a dureza diminui na zona fundida (ZF). Isso ocorre provavelmente devido a absorção de nitrogênio no cordão de solda (FEMA, 2000). Esse comportamento com a dureza também ocorreu no estudo de (FEMA, 2000) utilizando o processo SMAW. Com a corrente de vento, a superfície do cordão solidifica mais rapidamente, e impede a evolução do nitrogênio para fora do cordão. Nesta condição, em pequenas quantidades, o nitrogênio se apresenta misturado com o metal, sem apresentar porosidades (FEMA, 2000). A Figura 8 representa o diagrama da dureza Brinell versus posição no corpo de prova.

Nota-se ainda que os maiores valores de dureza foram obtidos na ZF, com perda gradual para a ZTA até o MB. As durezas superiores obtidas na ZTA podem ser relacionadas ao processo de têmpera causado pelo resfriamento gerado pela corrente de ar.

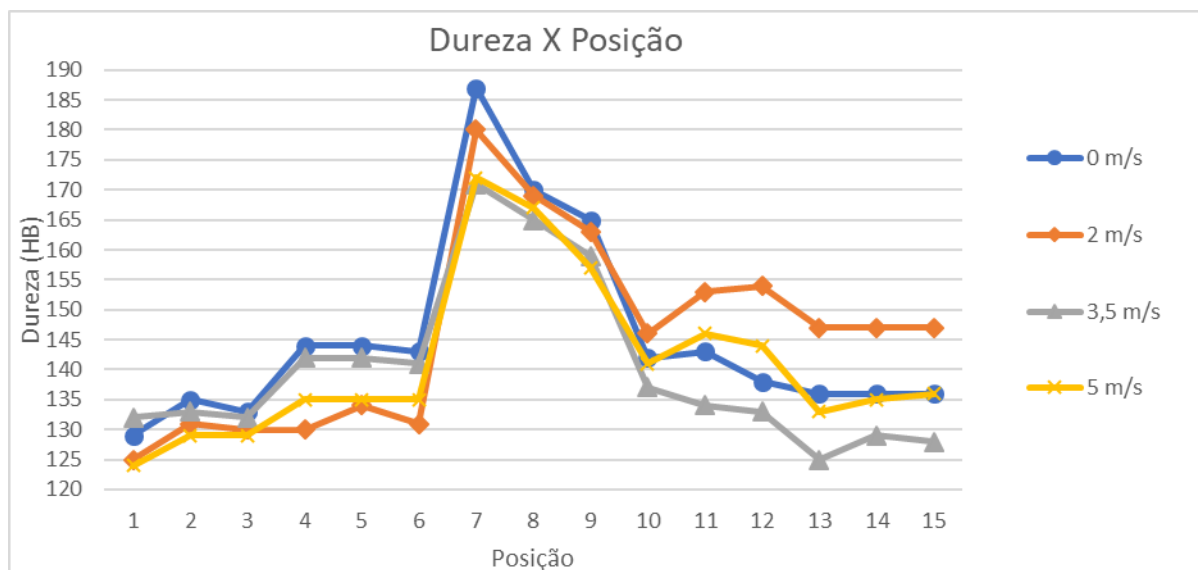


Figura 8. Diagrama dureza versus posição no corpo de prova (conforme a Figura 3).

4. CONCLUSÃO

Após a realização das soldagens e dos ensaios para avaliação do cordão de solda, conclui-se que:

- O aumento da velocidade de vento gera maior instabilidade no arco, que por sua vez gera maior quantidade de respingos e ondulações na superfície do material líquido, que diminui a qualidade do acabamento superficial;
- Para o processo FCAW-S, neste estudo, os cordões não apresentam descontinuidades e grandes alterações na microestrutura em relação a velocidades de vento. Somente há alterações microestruturais ocasionadas por passes subsequentes (neste estudo especialmente, pelo segundo passe), como por exemplo o refino de grão no passe raiz;
- A dureza da zona fundida diminui com o aumento da velocidade de vento, muito provavelmente pela absorção de nitrogênio no metal líquido.
- Os maiores valores de dureza estão na ZF, com perda gradual até o MB.
- A análise química revelou que praticamente não ocorreu perda de elementos de liga na ZF.

Agradecimentos

Os autores deste trabalho gostariam de agradecer ao IFC (Instituto Federal Catarinense – Campus Luzerna) e a FAPESC Edital N°02/2015, pelo financiamento da bolsa do projeto. A empresa ESAB do Brasil, que disponibilizou o arame consumível para a realização do estudo, bem como suporte técnico. A empresa HISA (Hidráulica Industrial SA), que forneceu o metal de base, assim como assistência e acompanhamento no desenvolvimento do projeto.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. ASTM A 36: Standard Specification for Carbon Structural Steel. United States, 2012. 3 p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E 3: Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens. EUA. 1995. 8 p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E 10: Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials¹. EUA. 2001. 9 p.
- AMERICAN WELDING SOCIETY. AWS A5.29: Specification For Low-alloy Steel Electrodes For Flux Cored Arc Welding. United States, 1996. 62 p.
- BONISZEWSKI, T. Self-Shielded Arc Welding. Abington Publishing. Cambridge, England. 1992.
- FEMA (Federal Emergency Management Agency), State of the Art Report on Welding and Inspection, FEMA-355B/September, 2000.
- LESSA, R. M. de A. Efeito do ventos sobre as propriedades mecânicas do Aço A-36: 2010. 98p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Pernambuco.
- MACHADO, I. G. Soldagem a Arco com Eletrodo Tubular. 1ªEd., Porto Alegre: editado pelo autor, 1996. Pg. 158-169.
- MOOJEN R.G., MACHADO I. G., MAZZAFERRO J. A. E. et al., Efeitos da Taxa de Resfriamento na Soldagem do Aço API 5L-X80. 2015. p. 1-13
- RADAJ D. Heat Effects of Welding. Berlim, Springer-Verlag. 1992, 348p.
- SOUZA, D.; ARAÚJO, D. B. et al., Estudo Exploratório sobre a Resistência da Soldagem as Correntes de Ar (Ventos) Utilizando os Processos de Soldagem Eletrodo Revestido (SMAW), Eletrodo Tubular (FCAW) e Eletrodo Tubular Auto protegido (FCAW-S). In: CONGRESSO NACIONAL DE SOLDAGEM, 39º, 2013, Curitiba, Associação Brasileira de Soldagem, 2013. 1-12.
- VILARINHO, L.O. Medição, Controle e Armazenamento. Notas de Aula, Curso de Especialização em Engenharia da Soldagem, Universidade Federal de Uberlândia, 2013, 1-88.