

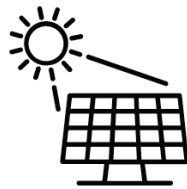


CIEEMAT`18

**IV Congresso Ibero-Americano de
Empreendedorismo, Energia,
Ambiente e Tecnologia**

Livro de Atas

Angra dos Reis, Rio de Janeiro
27 a 29 de novembro de 2018



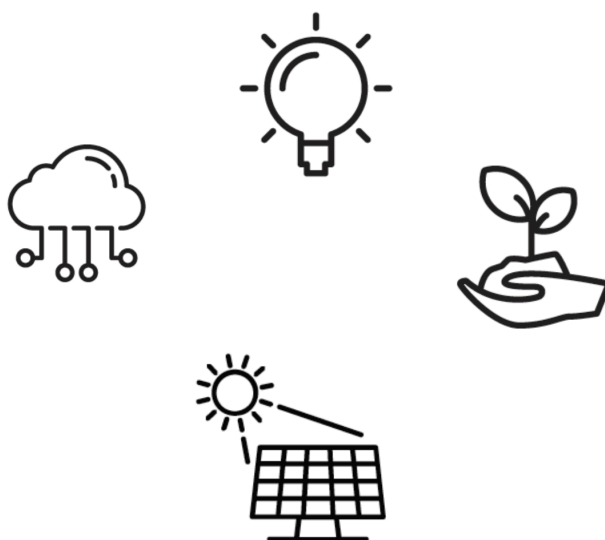
Instituto Politécnico de Bragança

2019



IV Congresso Ibero-Americano de Empreendedorismo, Energia, Ambiente e Tecnologia

Livro de Atas



Título: IV Congresso Ibero-Americano de Empreendedorismo, Energia, Ambiente e Tecnologia: Livro de Atas

Editores: Ronney Arismel Mancebo Boloy¹
Marcus Val Springer¹
Vanessa de Almeida Guimarães¹
Elizabeth Mendes de Oliveira¹
Amilton Ferreira da Silva Junior¹
Américo Vicente Leite²
Orlando Manuel Soares²
José Luis Calvo Rolle³
Jonni Guiller Ferreira Madeira¹

¹ Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Campus de Angra dos Reis, Rua do Areal, 522, Pq Mambucaba, Angra dos Reis, RJ, CEP: 23953-030, Brasil

² Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal

³ Universidade da Coruña, Campus Ferrol, 15403 Ferrol, Espanha

Edição: Instituto Politécnico de Bragança – 2019
Campus de Santa Apolónia
5300-253 Bragança
Portugal

Execução: Orlando Manuel Soares

ISBN: 978-972-745-258-3

URI: <http://hdl.handle.net/10198/17919>

Email: congresso.cieemat@gmail.com

Apoios e Patrocínios:



- Ronney Arismel Mancebo Boloy (CEFET/RJ, Brasil)
- Marcus Val Springer (CEFET/RJ, Brasil)
- Vanessa de Almeida Guimarães (CEFET/RJ, Brasil)
- Elizabeth Mendes de Oliveira (CEFET/RJ, Brasil)
- Amilton Ferreira da Silva Junior (CEFET/RJ, Brasil)
- Américo Vicente Leite (Instituto Politécnico de Bragança, Portugal)
- Orlando Manuel Soares (Instituto Politécnico de Bragança, Portugal)
- José Luis Calvo Rolle (Universidade da Coruña, Espanha)
- Jonni Guiller Ferreira Madeira (CEFET/RJ, Brasil)

- Luis Fernando dos Santos (CEFET/RJ, Brasil)
- Jaqueline Maria Ribeiro Vieira (CEFET/RJ, Brasil)
- Gisele Maria Ribeiro Vieira (CEFET/RJ, Brasil)
- Valter Silva (Instituto Politécnico de Portalegre, Portugal)
- Paulo Brito (Instituto Politécnico de Portalegre, Portugal)
- Luis Frolen Ribeiro (Instituto Politécnico de Bragança, Portugal)
- Agripina Ramirez Sanchez (Instituto de Innovacion En Biotecnología e Industria, República Dominicana)
- Jose Ramon Copa Rey (IPBEN-UNESP-FEG, Brasil)
- Patricia Alves Carneiro (Universidade Federal Fluminense – UFF, Brasil)
- Angel Luis Brito Sauvannell (Universidade de Oriente, Cuba)
- Elizabeth Isaac Aleman (Universidade de Oriente, Cuba)
- Lilliana Gomes Luna (Universidade de Oriente, Cuba)
- Marcelo Borges Rocha (CEFET/RJ, Brasil)
- Aline Monteiro Trigo (CEFET/RJ, Brasil)
- Ursula Maruyama (CEFET/RJ, Brasil)
- Daniel de Cerqueira Lima Penalva e Dos Santos (IFPE, Brasil)
- Marcellus Bastos (CEFET/RJ, Brasil)
- Fernando Luiz Barbuda de Abreu (IFRJ, Brasil)
- Justo Jose Roberts (Universidad del Mar de Plata, Argentina)
- Yilang Fung (Universidad de Oriente, Cuba)
- Paloma María Teresa Martínez Sánchez (Universidad del Bosque, Colombia)
- Janaina Veiga (CEFET/RJ, Brasil)
- Everton Pedroza (CEFET/RJ, Brasil)
- Ezequiel da Silva Oliveira (CEFET/RJ, Brasil)
- Darlene Souza da Silva Almeida (CEFET/RJ, Brasil)
- Fernando da Silva Araujo (CEFET/RJ, Brasil)
- Luane Fragoso (CEFET/RJ, Brasil)

Comissão Científica

- Fabiano Oliveira (CEFET/RJ, Brasil)
- Jorge Carvalho (CEFET/RJ, Brasil)
- Ricardo César da Silva Guabiroba (UFF, Brasil)
- Jose Adilson de Castro (UFF, Brasil)
- Maxwell de Azevedo Ferreira (IFRJ, Brasil)
- Sheila Serafim da Silva (USP, Brasil)
- Viviam Guimarães Rodrigues (UFF, Brasil)
- Leticia Zveiter (CEFET/RJ, Brasil)
- Nelson Cordeiro (CEFET/RJ, Brasil)
- Silvia Ainara Cardoso Agibert (CEFET/RJ, Brasil)
- Carlos Henrique Martins (CEFET/RJ, Brasil)
- Clóvis José da Silva (CEFET/RJ, Brasil)
- Marcelo Oliveira Pereira (CEFET/RJ, Brasil)

**IV CONGRESSO IBERO-AMERICANO EM EMPREENDEDORISMO,
ENERGIA, MEIO AMBIENTE E TECNOLOGIA - CIEEMAT 2018**

**TEMA CENTRAL: AVANÇOS NAS INOVAÇÕES ASSOCIADAS A
NANOTECNOLOGIA, BIOENERGIA E MEIO AMBIENTE**

PROGRAMAÇÃO

	27/11/2018	28/11/2018	29/11/2018
09:00-10:00	CREDENCIAMENTO	VISITA TÉCNICA A ELETRONUCLEAR	PALESTRA 2
10:00-11:00		VISITA TÉCNICA A ELETRONUCLEAR	COMUNICAÇÕES ORAIS 2/ COMUNICAÇÕES EM PÔSTERES 2
11:00-12:00		VISITA TÉCNICA A ELETRONUCLEAR	COMUNICAÇÕES ORAIS 2/ COMUNICAÇÕES EM PÔSTERES 2
12:00-14:00	ALMOÇO	ALMOÇO	ALMOÇO
14:00-15:00	CREDENCIAMENTO	PALESTRA 1	PALESTRA 3
15:00-16:00		COFFEE BRAKE	COFFEE BRAKE
16:00-17:00		COMUNICAÇÕES ORAIS 1 / COMUNICAÇÕES EM PÔSTERES 1	PALESTRA 4
17:00-18:30	SESSÃO DE ABERTURA		COMUNICAÇÕES ORAIS 3 / COMUNICAÇÕES EM PÔSTERES 3
18:30-19:30	MESA REDONDA: PROGRAMAS DE DUPLA DIPLOMAÇÃO		SESSÃO DE ENCERRAMENTO
19:30-21:00	COQUETEL DE BOAS VINDAS	COQUETEL	COQUETEL DE ENCERRAMENTO

Programa Geral

TERÇA FEIRA, 27 DE NOVEMBRO DE 2018

09:00 – 12:00 CREDENCIAMENTO

12:00 – 14:00 ALMOÇO

14:00 – 17:00 CREDENCIAMENTO

17:30 – 18:30 SESSÃO DE ABERTURA

- Ronney Arismel Mancebo Boloy, Presidente do CIEEMAT
- Carlos Henrique Figueiredo Alves, Diretor Geral do CEFET/RJ
- Mauricio Motta, Vice-Diretor Geral do CEFET/RJ
- Leonam dos Santos Guimaraes, Presidente da Eletronuclear
- Marcos Antonio Juliatto, Assesor Especial NEPI, SETEC- MEC
- Paulo Brito, IPPortalegre, Portugal

18:30 – 19:30 PROGRAMAS DE DUPLA DIPLOMAÇÃO

Moderadora: Gisele Maria Vieira Ribeiro

- Carlos Henrique Figueiredo Alves, Diretor Geral do CEFET/RJ
- Mauricio Motta, Vice-Diretor Geral do CEFET/RJ
- Ronney Arismel Mancebo Boloy, Presidente CIEEMAT CEFET/RJ, Brasil
- Paulo Brito, IPPortalegre, Portugal

19:30-21:00 COQUETEL DE BOAS VINDAS

QUARTA FEIRA, 28 DE NOVEMBRO DE 2018

14:00-15:00 SESSÃO PLENÁRIA 1

Moderador: Jonni Guiller Ferreira Madeira

Palestrante: Leonam dos Santos Guimarães, Presidente da Eletronuclear.

Título: *Interdependência entre Água e Energia.*

16:00-19:30 COMUNICAÇÕES ORAIS 1/COMUNICAÇÕES EM PÔSTERES 1

Moderadores: Amilton Ferreira Junior e Vanessa Guimarães

COMUNICAÇÕES ORAIS 1

- 115106 Nano/microencapsulamento de biopesticidas a base de óleo de NIM para uso em agricultura orgânica.
- 114405 Desenvolvimento e aplicação de sistema de baixo custo na avaliação de parâmetros de GAI.
- 115277 Síntese de nanopartículas magnéticas de óxido de ferro.
- 115491 Distribuição do tamanho de partícula da dissolução química de resíduo polimérico.

- 114413 Membranas híbridas catiônicas de PVA e dióxido de estanho modificado com sal de fenol reticuladas com mistura de ácidos.
- 114560 Degradação do 1H-benzotriazol utilizando eletrodos modificados com nanotubos de titânio.
- 113877 Análise energética e econômica do potencial de uso do biogás produzido no aterro de guarapuava/PR.
- 111295 Análise energética de um sistema de geração de bioenergia a partir de biogás.
- 115326 Avaliação da resistência à corrosão de diferentes materiais metálicos e revestidos para aplicação em ambientes corrosivos.
- 114400 Avaliação dos níveis de PM_{2,5} na zona industrial de Mirandela – Portugal.

COMUNICAÇÕES EM PÔSTERES 1

- 114317 Efeito das variáveis do superaquecimento na formação macro e microestrutural da liga Al-4%Cu.
- 114258 Estudo de um compósito de polipropileno reforçado com fibras da casca de noz macadâmia para caracterização de propriedades ópticas por meio da técnica de elipsometria.
- 114439 Estudo de multicamadas dos polieletrólitos PDADMAC e alginato de sódio
- 115334 simulação da geração de energia a partir de biomassa (caroço de azeitona).
- 114274 Estudo da síntese e caracterização de uma matriz vítrea para a produção de um vidro nanoestruturado.
- 94892 Avaliação do revestimento de cromo em eletrodos de solda a ponto por resistência em ligas de zircônio.
- 115489 Revestimentos poliméricos anticorrosivos aplicados em chapas de aço na indústria naval.
- 115470 Avaliação do efeito térmico na compressão de concreto produzido com a incorporação de resíduo agroindustrial.
- 114288 Resistência à corrosão da liga Ti-6Al-7Nb recoberta com óxido anódico nanoestruturado em meio que simula o fisiológico.
- 113803 Determinação do consumo de energia elétrica para os sistemas de ar-condicionado – um estudo de caso.
- 99060 Análise da correlação entre o efeito de diferentes energias de soldagem e a corrosão do aço inoxidável AISI 316L.
- 112182 Análise de parâmetros físico-químicos que garantem a eficácia da compostagem de bovinos.
- 115061 Determinação da densidade das fibras picadas de bambu por picnometria.
- 112666 Estudo do crescimento de camadas de polieletrólitos via elipsometria.
- 115351 Numerical analysis of a hyperelastic PDMS under simple shear.
- 115387 Estudo de resistência à compressão do cimento Portland com adição de catalisador de equilíbrio (e-cat).

Programa Geral

- 114402 Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos conectados à rede – SFVCR, com adequação do gerador fotovoltaico aos parâmetros elétricos do inversor e aos fatores de perdas.
- 113972 O uso do arduino no controle de experimentos de óptica.
- 113966 Detecção de variação de rugosidade por análise de imagens digitais de padrões de speckle via entropia de tsallis.
- 98960 Análisis de factibilidad para la generación de biogás en la comunidad de Los Arreguín de Abajo.

QUINTA FEIRA, 29 DE NOVEMBRO DE 2018

09:00-10:00 SESSÃO PLENÁRIA 2

- Moderador:** Daniel de Cerqueira Lima e Penalva dos Santos
Palestrante: Marco Antonio Juliatto. Setec-Mec
Título: *Energif - Programa para o Desenvolvimento de Energias Renováveis e Eficiência Energética na Rede Federal.*

10:00-12:00 COMUNICAÇÕES ORAIS 2/COMUNICAÇÕES EM PÔSTERES 2

- Moderadores:** Luís Fernando dos Santos e Elizabeth Mendes de Oliveira

COMUNICAÇÕES ORAIS 2

- 114063 Estudo de um sistema fotovoltaico de 45kWp conectado à rede e sua influência na qualidade de energia elétrica no ponto comum de conexão.
- 112281 Case study for the recovery of waste in the euroace área.
- 115381 Avaliação do limite operacional de motores de indução trifásicos em função do desequilíbrio e/ou presença de harmônicos na tensão de alimentação aplicando lógica fuzzy.
- 106257 Avaliação da taxa de aquecimento do briquete de minério de ferro com biomassa de capim elefante utilizando energia de micro-ondas.
- 115390 Síntese, caracterização físico-química e estudos de degradação e citotoxicidade de esferas de quitosana para adsorção e liberação de moléculas.
- 109612 A heuristic solution based on clarke & wright's savings algorithm for the optimization of sludge hauling: the case of a portuguese company.
- 115188 Identificação das pesquisas stricto sensu sobre metodologias de aprendizagem ativa na pós-graduação brasileira de 2012 a 2017.
- 114151 Sistema fotovoltaico autônomo para sistema de iluminação utilizando células reutilizadas de lítio.

COMUNICAÇÕES EM PÔSTERES 2

- 115320 Estudo sobre a viabilidade técnica de um maçarico oxi-hidrogênio utilizando eletrólise da água.
- 115244 Carneiro hidráulico e o seu potencial para o processo de dessalinização por osmose reversa.

- 113911 Sistemas de transmissão baseado em ímãs permanentes.
- 115394 Estudo para caracterização de propriedades ópticas de cobre e seus óxidos por elipsometria.
- 112486 Síntese e aplicação da zeólita X na adsorção de íons zinco (ii) em soluções aquosas.
- 115373 Avaliação de uma cooperativa de catadores com foco na gestão dos resíduos como potencial de contribuição à sustentabilidade.
- 114024 Hybrid composites with natural vegetable fibers.
- 114017 Síntese e caracterização de vidros nióbio-fosfatos com adição de escórias.
- 112514 Estudo de propriedades ópticas de propileno reciclado via elipsometria.
- 115335 Estudo teórico dos aminoácidos metionina e glicina como possíveis inibidores de corrosão.
- 114392 Monitoramento ambiental remoto da qualidade da água.
- 113899 Cinética das transformações nucleadas em linhas aleatórias em 2-D: expressão analítica e simulação computacional.
- 109815 Principais desafios da gestão e geração da energia por fontes alternativas em cidades inteligentes.
- 114270 Alternativas para diminuição da carga térmica, levando em consideração sua eficiência energética – um estudo de caso.
- 112494 Influência da degradação térmica nas propriedades físicas e estruturais do copolímero etileno-propileno fluorado.
- 112320 Posicionamento de módulos solares fotovoltaicos.
- 113945 O uso da lacunaridade para identificação de variação de rugosidade em superfícies metálicas via imagens de padrões de speckle.
- 92968 Tecnologia 3D: ferramenta para o ensino de artes visuais para pessoas com deficiência visual.
- 115389 Eficiência energética por meio da análise da demanda contratada, consumo e enquadramento tarifário do grupo "a": estudo de caso no IFPA campus Parauapebas.
- 114372 Avaliação da superfície usinada de espécie alternativa.

14:00-15:00 SESSÃO PLENÁRIA 3

Moderador: José Adilson De Castro

Palestrante: Doina Maria Banea

Título: *O Uso de Recursos Naturais para a Produção de Novos Materiais.*

16:00-17:00 SESSÃO PLENÁRIA 4

Moderadora: Doina Maria Banea

Palestrante: José Adilson de Castro

Título: *Análise Energética e Exergética em Processos de Fabricação de Ferro Primário.*

Programa Geral

17:00-18:30 COMUNICAÇÕES ORAIS 3 / COMUNICAÇÕES EM PÔSTERES 3

Moderadora: Janaina Veiga

COMUNICAÇÕES ORAIS 3

- 114292 Consumo consciente de água em uma instituição de ensino superior.
- 98990 Avaliação da técnica de baking ácido utilizando energia de micro-ondas para redução do teor do elemento fósforo contido no minério de ferro.
- 115461 Alocação de filtro passivo na rede elétrica do CEFET/RJ campus Angra dos Reis.
- 113752 Desenvolvimento de um aplicativo para auxílio a capacitação da identificação de sintomas de infarto.
- 113976 Estudo bibliográfico sobre metodologias empregadas para a estimativa de fitoplâncton em ambientes naturais.
- 97550 Avaliação de uma junta soldada entre um aço inoxidável duplex e um aço de alta resistência e baixa liga.

18:30-19:30 SESSÃO DE ENCERRAMENTO

Leonam dos Santos Guimarães



Nascido em 1 de janeiro de 1960, no Rio de Janeiro-RJ, é graduado em Ciências Navais pela Escola Naval (1980) e em Engenharia Naval e Oceânica pela Escola Politécnica da USP (1986). Possui mestrado em Engenharia Naval e Oceânica pela USP (1991), mestrado em Engenharia Nuclear pelo Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires - INSTN da Universidade de Paris XI (1993), estágio de pesquisa aplicada (attaché de recherche) no Centre d'Études sur la Protection Dans le Domaine Nucléaire - CEPN (1994-1995), mestrado profissional em Ciências Navais pela Escola de Guerra Naval (1996) e doutorado em Engenharia Naval e Oceânica pela Escola Politécnica da USP (1999). É Diretor Técnico da Eletrobrás Termonuclear - ELETRONUCLEAR S.A. desde maio de 2017, tendo sido anteriormente Diretor de Planejamento Gestão e Meio Ambiente dessa empresa desde abril de 2014. É membro do Standing Advisory Group on Nuclear Energy (SAGNE) da International Atomic Energy Agency (IAEA) desde abril de 2010, membro do Conselho de Administração da World Nuclear Association (WNA) desde abril de 2016 e membro no Conselho Empresarial de Energia Elétrica da Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN) desde agosto de 2015. Foi Presidente da Latin American Section da American Nuclear Society (LAS/ANS) no biênio 2014/2016, Diretor Técnico Comercial da Amazônia Azul Tecnologias de Defesa - AMAZUL S.A. (2013-2014), Assistente da Presidência da ELETRONUCLEAR (2005 - 2013) e atuou por 20 anos no Programa Nuclear da Marinha, tendo sido Coordenador do Programa de Propulsão Nuclear do Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo - CTMSP (2001-2005), Gerente de Projeto do Reator e Primário (1995-2001), Encarregado da Seção Técnica de Projeto de Arranjo Físico de Instalações (1988-1992) e Engenheiro Projetista da Seção Técnica de Sistemas Navais (1986-1988). Foi membro do Conselho de Administração do IPT S.A. (1999-2005) e dos Conselhos Deliberativo e Consultivo do Instituto de Engenharia de São Paulo (2005-2009). Na área acadêmica, foi Professor Titular da Faculdade de Administração da Fundação Armando Álvares Penteado (FAAP, 2003-2014), Professor Visitante do Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da Escola Politécnica da USP (EPUSP, 2002-2005), do Programa de Educação Continuada em Engenharia (PECE/EPUSP) da Fundação para o Desenvolvimento da Tecnologia e Engenharia (FDTE, 2000-2005), do Programa de Pós-Graduação em Gerenciamento de Projetos da Fundação Antonio Carlos Vanzolini (FCAV, 2003-2005) e Professor Adjunto da Faculdade de Engenharia da Universidade do Grande ABC (UNIABC, 1999-2001).

Palestrantes Convidados

É autor do livro "Gerenciamento de Riscos e Segurança de Sistemas" (iEditora, 2003 e Frontier India, 2016 ? edição em inglês), co-autor dos livros "Energia Nuclear: do Anátema ao Debate" (Editora SENAC-SP, 2011), "Energia Nuclear e Sustentabilidade" (Ed. Blucher, 2010), "Gestão da Tecnologia e Inovação; um enfoque prático" (Ed. Saraiva, 2005) e organizador do livro "Segurança de Sítios Nucleares" (Capax Dei, 2010), além de diversos artigos nas áreas de engenharia naval, nuclear e de produção. Capitão-de-Mar-e-Guerra (reserva) da Marinha do Brasil, foi chefe de máquinas do Rebocador de Alto Mar Triunfo (1981-1983) e do Veleiro Oceânico Cisne Branco (1980-1981). Oficial e Cavaleiro das Ordem do Mérito Naval (2017 e 2005), Oficial da Ordens do Mérito Tamandaré (2003) e da Engenharia Militar (2004), é Cidadão Honorário de Angra dos Reis (2009) e Submarinista Honorário (1991).

Marco António Juliatto



Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC (2005), graduado em Engenharia de Produção Elétrica (UFSC-1998), Técnico em Eletrotécnica pela Escola Técnica Federal de Santa Catarina (1985) e Professor de Educação Profissional Técnica e Tecnológica nos Cursos Técnico de Eletrotécnica e Curso Superior de Tecnologia em Sistemas de Energia, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - IFSC, desde 1988. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica e de Produção, com ênfase em Gestão e Melhoria de Processos, Análise do Valor e Eficiência Energética, atuando principalmente nos seguintes temas: gestão e melhoria de processos, estudo de viabilidade técnica e econômica e conservação de energia e eficiência energética. Atualmente exerce o cargo de Assessor Especial do NEPI - Núcleo Estruturante da Política de Inovação, junto a Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica - SETEC, do Ministério da Educação - MEC.

José Adilson de Castro



O professor José Adilson de Castro possui graduação em Engenharia Metalúrgica pela Universidade Federal de Ouro Preto (1993), mestrado em Engenharia Metalúrgica pela Universidade Federal Fluminense (1996) e Ph. D Em Engenharia com ênfase em simulação de processos e fenômenos pela Tohoku University, no Japão (2001). Foi membro do corpo Editorial da Coleção de Livros Metalurgia e Materiais(2006-2014) e sócio da ABMM e ABCM.

Professor associado da Universidade Federal Fluminense desde 2002. Tem experiência na área de Engenharia de Materiais e Metalúrgica, com ênfase em Siderurgia, Energia e meio ambiente, atuando principalmente nos seguintes temas: simulação computacional de Processos, alto-forno, Sinterização, Meio Ambiente e aproveitamento de resíduos para energia. Atua no desenvolvimento e aplicação de Softwares voltados à análise dos processos siderúrgicos, impactos ambientais e fontes alternativas de energia. Jovem cientista do Estado do Rio de Janeiro (2008) e Cientista do Estado do Rio de Janeiro (2014). Foi coordenador do Programa de Pós Graduação em Engenharia Metalúrgica (2006-2010) e atualmente desde 2016. Atua como revisor de vários periódicos internacionais e consultor “had hoc” do CNPq, CAPES, Faperj, Fapesp, Fapemig e agências internacionais: Academia sueca, Mombusho eCNR. Possui aproximadamente 140 papers em periódicos internacional e nacionais e 250 trabalhos publicados em eventos científicos nacionais e Internacionais. Experiência de supervisão de pós doutorandos, doutorandos e mestrandos.

Mariana Doina Banea



Mariana Doina Banea obteve o Doutorado em Engenharia Mecânica pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), Portugal em 2011. Atualmente é professora do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro, Brasil. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em materiais compostos e juntas coladas. M.D. Banea publicou 73 artigos em revistas com arbitragem científica (ISI Web of Knowledge) e mais de 150 publicações em anais de conferências.

Palestrantes Convidados

Seus trabalhos foram citados 1342 vezes e correspondem a um índice h de 20 (SCOPUS, 30/04/2018). Ganhou os prêmios SAGE Best Paper Award 2010 e Donald Julius Groen Prize 2010 (ambos da Institution of Mechanical Engineers, IMechE, Reino Unido). Ganhou o Prêmio Fundação Eng. António de Almeida, Portugal (2013). Atualmente é Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq e Jovem Cientista do Estado do Rio de Janeiro pela FAPERJ.

Índice de Trabalhos

Nº Artigo	Titulo.....	Pág.
	Autores	
97550	<i>Avaliação de uma junta soldada entre um aço inoxidável duplex e um aço de alta resistência e baixa liga</i>	1
	Gulliver Catão Silva, José Adilson de Castro, Moisés Luiz Lagares Junior, Fabiola Vianna	
106257	<i>Avaliação da taxa de aquecimento do briquete de minério de ferro com biomassa de capim elefante utilizando energia de micro-ondas</i>	7
	Rayla de Souza Caldas, Leonardo Martins da Silva, Marisa Nascimento, Anderson Virgílio de Queiroz, Elizabeth Mendes de Oliveira, Márcio Teodoro Fernandes, José Adilson de Castro	
112494	<i>Influência da degradação térmica nas propriedades físicas e estruturais do copolímero Etileno-Propileno Fluorado</i>	13
	Érica Fernanda da Silva Tirelli, Neil de Medeiros, Fábio José Bento Brum	
112514	<i>Estudo de Propriedades Ópticas de Propileno Reciclado via Elipsometria</i>	17
	Marinele Tolentino Rodrigues, Ladário da Silva	
112666	<i>Estudo do crescimento de camadas de polieletrólitos via elipsometria</i>	21
	Joyce de Paula Cipriano, Tamiris De Almeida, Edwin Elard Garcia-Rojas, Letícia Vitorazi, Ladário da Silva	
113752	<i>Desenvolvimento de um aplicativo para auxílio a capacitação da identificação de sintomas de infarto</i>	27
	Lucas Torres, Marlon Mohamud Vilagra, Eduardo Tavares Lima Trajano, Carlos Vitor de Alencar Carvalho	
113803	<i>Determinação do consumo de energia elétrica para os sistemas de ar-condicionado – um estudo de caso</i>	33
	Ricardo Alex Dantas da Cunha, Francisco Silva e Serpa, Breno Vinicius Santos De Souza, Paulina Lislely Paixão Lima, Thiago Sena Leite, Yuri Silva Ribeiro	
113877	<i>Análise energética e econômica do potencial de uso do biogás produzido no aterro de guarapuava/PR</i>	41
	João Victor Batista Travessa, Ronney Mancebo	

Índice de Trabalhos

Nº Artigo	Titulo.....	Pág.
	Autores	
113899	<i>Cinética das transformações nucleadas em linhas aleatórias em 2-D: expressão analítica e simulação computacional</i>	47
	Aline Cristine Lemos Duarte, Harison da Silva Ventura, André Luiz Moraes Alves, Wesley Luiz da Silva Assis, Paulo Rangel Rios, Felipe da Silva Siqueira	
113911	<i>Sistemas de transmissão baseado em ímãs permanentes</i>	53
	Maria Sabrina Vieira de Miranda de Paiva de Souza, Amilton Ferreira da Silva Júnior, Ângela Paula Ferreira	
113945	<i>O uso da lacunaridade para identificação de variação de rugosidade em superfícies metálicas via imagens de padrões de speckle</i>	59
	Marina Ribeiro Barros Dias, Daniel Dornelas, José Augusto Oliveira Huguenin, Wagner Franklin Balthazar, Ladário da Silva	
113966	<i>Detecção de Variação de Rugosidade po Análise de Imagens Digitais de Padrões de Speckle via Entropia de Tsallis</i>	65
	Clarissa de Paula Dias, Marina Ribeiro Barros Dias, Daniel Dornelas, José Augusto Oliveira Huguenin, Ladário da Silva	
113972	<i>O uso do arduino no controle de experimentos de óptica</i>	69
	Carla Carvalho Pinto, Heitor Malaguti Souto, Pedro Corrêa de Almeida Malagalhães, Silvânia Alves de Carvalho, Clifford Neves Pinto, Dionathan Knupp, Ladário da Silva, José Augusto Oliveira Huguenin, Stefano De Leo	
113976	<i>Estudo bibliográfico sobre metodologias empregadas para a estimativa de fitoplâncton em ambientes naturais.....</i>	75
	Everton Alves Miranda, Luiz Carlos Ferreira Garcez, Ricardo de Oliveira, Luiz Gustavo Lourenço Moura, Milton Erthal Júnior, Renato Gomes Sobral Barcellos	
114017	<i>Síntese e caracterização de vidros Nióbio-Fosfatos com adição de escórias</i>	81
	MunIQUE Eva Paiva de Araujo, Denimara Dias dos Santos, Camila Ferreira da Silva, Elevelton Alves Ferreira, Michele Lemos de Souza, Ladário da Silva	
114024	<i>Hybrid composites with natural vegetable fibers</i>	87
	Alexandre Luiz Pereira, Daniel Kioshi Kawasaki Cavalcanti, Jorge de Souza e Silva Neto, Rosemere de Araujo Alves Lima, Doina Mariana Banea	
114063	<i>Estudo de um sistema fotovoltaico de 45kWp conectado à rede e sua influência na qualidade de energia elétrica no ponto comum de conexão.....</i>	91
	Ozlean de Lima Dantas, Roberto Apolonio, Alcides Arruda Junior	

Nº Artigo	Titulo.....	Pág.
	Autores	
114151	<i>Sistema fotovoltaico autônomo para sistema de iluminação utilizando células reutilizadas de lítio.....</i>	97
	Ulysses Souza Gonçalves, Jorge Alves, José Lima, Orlando Soares	
114258	<i>Estudo de um compósito de polipropileno reforçado com fibras da casca de noz macadâmia para caracterização de propriedades ópticas por meio da técnica de elipsometria.....</i>	103
	Patricia Sousa Nilo Mendes, Joyce de Paula Cipriano, Claudio Faria Lopes Junior, Priscila Sousa Nilo Mendes, Daniela Mulinari, Ladário da Silva	
114270	<i>Alternativas para diminuição da carga térmica, levando em consideração sua eficiência energética – um estudo de caso.....</i>	109
	Ricardo Alex Dantas da Cunha, Camila Angra Sousa de Carvalho, Emilly vitoria dias de brito, Lucas Araújo do Nascimento, Francisco Silva e Serpa, Luanny Thayelly Reis Costa	
114274	<i>Estudo da síntese e caracterização de uma matriz vítrea para a produção de um vidro nanoestruturado.....</i>	117
	Maisa Azevedo Dalbone de Carvalho, Thais Mota Carvalho, Giseli Cristina Ribeiro, Ladário da Silva	
114288	<i>Resistência à corrosão da Liga Ti-6Al-7Nb recoberta com óxido anódico nanoestruturado em meio que simula o fisiológico.....</i>	121
	Renata Leal Saldanha, Jéssica Nogueira da Cunha, Luis Felipe Nascimento Guedes, Ladário Da Silva, Eivelton Alves Ferreira	
114292	<i>Consumo consciente de água em uma Instituição de Ensino Superior.....</i>	125
	Aline Monteiro Trigo, Ursula Gomes Rosa Maruyama, Clara Lima Cavalcante de Figueiredo, Brena Cyriaco Sattamini, Giuliana Bastos De Macau, Dailleney Chagas de Oliveira Mariano	
114317	<i>Efeito das variáveis do superaquecimento na formação macro e microestrutural da liga Al-4%Cu.....</i>	131
	Wemberson Bitencourt Chrisóstimo, Alexandre Furtado Ferreira, Wysllan Jefferson Lima Garção, Thiago Alves de Souza, Thamara Cristina Santos de Oliveira da Silva, Janayna Jasmin Passos	
114372	<i>Avaliação da superfície usinada de espécie alternativa.....</i>	137
	Gabriela Lima de Matos, Keiti Roseani Mendes Pereira, Carolina Nogueira Xavier	

Índice de Trabalhos

Nº Artigo	Titulo.....	Pág.
	Autores	
114392	<i>Monitoramento ambiental remoto da qualidade da água.....</i>	141
	Alexandre Silva de Lima, Maria Cristina José Soares, Julio César de Oliveira Antunes, Maria José Paes Santos, Juliane Pereira Zago, Luiz Guilherme Santos de Lima, Yuri Nascimento da Silva	
114400	<i>Avaliação dos níveis de PM_{2,5} na zona industrial de Mirandela – Portugal</i>	145
	Rafaela Cruz Alves, Artur Goncalves, Leila Droprinchiwski Martins, Manuel Feliciano	
114402	<i>Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos conectados à rede – SFVCR, com adequação do gerador fotovoltaico aos parâmetros elétricos do inversor e aos fatores de perdas.....</i>	151
	Alcides Arruda Junior, Roberto Apolonio, Ozlean De Lima Dantas	
114405	<i>Desenvolvimento e aplicação de sistema de baixo custo na avaliação de parâmetros de QAI</i>	159
	Matheus de Oliveira Prestes, Manuel Feliciano, Laercio Mantovani Frare, Rafaela Cruz Alves, Getúlio Igrejas	
114413	<i>Membranas híbridas catiônicas de pva e dióxido de estanho modificado com sal de fenol reticuladas com mistura de ácidos</i>	165
	Liz Contino Vianna de Aguiar, Luís Guilherme da Silva Mattos, Larissa Aparecida Toledo Costa, Fabiana Campos do Nascimento, Fábio José Bento Brum, Ailton de Souza Gomes	
114439	<i>Estudo de multicamadas dos polieletrólitos PDADMAC e alginato de sódio</i>	171
	Tamiris De Almeida, Joyce de Paula Cipriano, Edwin Elard Garcia-Rojas, Ladário da Silva, Letícia Vitorazi	
114560	<i>Degradação do 1H-Benzotriazol utilizando eletrodos modificados com nanotubos de titânio</i>	175
	Thiago Fonseca da Costa, Nelson Ramos Stradiotto, Patricia Alves Carneiro	
115061	<i>Determinação da densidade das fibras picadas de bambu por picnometria</i>	179
	Laryssa de Jesus Ramos, Leonardo Nader Chagas, Aldir Paes de Jesus, Simone Pereira Taguchi Borges, Luiz Antonio Borges Junior	

Índice de Trabalhos

Nº Artigo	Titulo.....	Pág.
	Autores	
115106	<i>Nano/microencapsulamento de biopesticidas a base de óleo de Nim para uso em agricultura orgânica.....</i>	185
	Martha Beatriz Horn, Marçal José Rodrigues Pires, Simone Stülp	
115188	<i>Identificação das pesquisas stricto sensu sobre metodologias de aprendizagem ativa na pós-graduação brasileira de 2012 a 2017</i>	191
	Carolina Maia dos Santos, Fernanda Abreu de Moraes Figueiredo, Alexandre de Carvalho Castro	
115244	<i>Carneiro hidráulico e o seu potencial para o processo de dessalinização por osmose reversa.....</i>	197
	Gustavo da Silva Correia, Emmanuel Lopes	
115277	<i>Síntese de nanopartículas magnéticas de óxido de ferro</i>	203
	Mariana Bianchini Silva, Michele Lemos de Souza, Letícia Vitorazi	
115320	<i>Estudo sobre a viabilidade técnica de um maçarico oxi-hidrogênio utilizando eletrólise da água</i>	207
	Armando Teixeira Nunes	
115326	<i>Avaliação da resistência à corrosão de diferentes materiais metálicos e revestidos para aplicação em ambientes corrosivos</i>	211
	Juliana Nogueira da Cruz, Alberto Nei Carvalho Costa, Elivelton Alves Ferreira, Letícia Vitorazi	
115334	<i>Simulação da geração de energia a partir de biomassa (caroço de azeitona).....</i>	215
	Hídila Teixeira da Silva Teixeira Da Silva, Wilson Ricardo Chimatti, Marisa Fernandes Mendes, David Vilas Boas de Campos, Cristiane de Souza Siqueira Pereira	
115335	<i>Estudo teórico dos aminoácidos Metionina e Glicina como possíveis inibidores de corrosão</i>	219
	Vitor de Oliveira Arantes, Elivelton Alves Ferreira, Lilian Weitzel Coelho Paes	
115351	<i>Numerical analysis of a hyperelastic PDMS under simple shear.....</i>	225
	Alexandre Luiz Pereira, Fernando da Silva Araújo, Rafael Oliveira Santos	
115373	<i>Avaliação de uma cooperativa de catadores com foco na gestão dos resíduos como potencial de contribuição à sustentabilidade</i>	231
	Dulciléia de Sousa Rocha, Ubirajara Aluizio de Oliveira Mattos	

Índice de Trabalhos

Nº Artigo	Titulo.....	Pág.
	Autores	
115381	<i>Avaliação do Limite Operacional de Motores de Indução Trifásicos em Função do Desequilíbrio e/ou Presença de Harmônicos na Tensão de Alimentação Aplicando Lógica Fuzzy.....</i>	237
	José Lucas Damasceno Holanda, Ronimack Trajano de Souza	
115387	<i>Estudo de resistência à compressão do cimento portland com adição de catalisador de equilíbrio (E-Cat)</i>	243
	Filipe Leal Carvalho dos Santos	
115389	<i>Eficiência energética por meio da análise da demanda contratada, consumo e enquadramento tarifário do grupo "a": estudo de caso no IFPA Câmpus Parauapebas</i>	247
	Francisco Silva e Serpa, William Fernandes Vilhamor, Ricardo Alex Dantas da Cunha, Pablo Gama Barros da Silva, Wellington Oliveira Aguilar Bezerra	
115390	<i>Síntese, caracterização físico-química e estudos de degradação e citotoxicidade de esferas de quitosana para adsorção e liberação de moléculas.....</i>	253
	Ingrid Russoni de Lima, Márcio Teodoro Fernandes, Anderson Virgílio de Queiroz, Leonardo Martins da Silva, Cristiane Xavier Resende, José Adilson de Castro, Renata Antoum Simão, Gláucio Soares Da Fonseca	
115394	<i>Estudo para caracterização de propriedades ópticas de cobre e seus óxidos por elipsometria</i>	259
	Glauco Silva de Assis Machado, Cláudio Faria Lopes Junior, José Augusto Oliveira Huguenin, Ladário da Silva	
115461	<i>Alocação de filtro passivo na rede elétrica do CEFET/RJ campus Angra dos Reis</i>	265
	Sérgio Cabral Estevam da Silva, Ezequiel da Silva Oliveira, Luís Fernando dos Santos	
115470	<i>Avaliação do efeito térmico na compressão de concreto produzido com a incorporação de resíduo agroindustrial.....</i>	269
	Luiz Felipe Lima Panizzi, Cristiane de Souza Siqueira Pereira, Ana Paula de Carvalho Faria, Manoela Silva Lima Mariotini Carotta, Jonas dos Santos Pacheco	

Índice de Trabalhos

Nº Artigo	Titulo.....	Pág.
	Autores	
115489	<i>Revestimentos poliméricos anticorrosivos aplicados em chapas de aço na indústria naval</i>	275
	Erick Ledyan de Almeida, Isaac Agnello da Silva Sobreiro, Geraldine Nancy Rodríguez Perea, Marcos V Lorevice, Elivelton Alves Ferreira, Letícia Vitorazi	
115491	<i>Distribuição do Tamanho de Partícula da Dissolução Química de Resíduo Polimérico</i>	279
	Ricardo de Sousa Cunha, Lucas André Ignacio Langsch, Guilherme Davi Mumbach, Ricardo Antônio Francisco Machado, Ariovaldo Bolzan	

Avaliação de uma junta soldada entre um aço inoxidável duplex e um aço de alta resistência e baixa liga

Gulliver Catão Silva¹

Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica
Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda. Rio de Janeiro, Brasil

gulliver.catao@engenharia.uff.br

Jose Adilson de Castro², Fabiola Vianna³

Programa de Pós Graduação em Engenharia Metalúrgica
Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda. Rio de Janeiro, Brasil.

joeadilsoncastro@id.uff.br³, fsvianass@gmail.com⁴

Moisés Luiz Lagares Junior⁴

Departamento de Engenharia Mecânica
Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora. Minas Gerais, Brasil

moises.lagares@engenharia.uff.br

Abstract— The welding between duplex stainless steels and high strength and low alloy steels has been widely studied and used, especially in the oil and gas industry. In general, more challenging than the conventional welding (materials that have chemical composition and similar properties) this type of joint is more sensitive to the differences in the mechanical behavior of the materials involved. From this perspective, this work aims to evaluate the joint welded between an AFS 2304 duplex stainless steel and a high strength low alloy steel API 5L X80 grade. The weld joint was evaluated by optical and electron microscopy, dispersive energy spectrometry (EDS), microhardness profile and anodic potentiodynamic polarization.

Keywords—Dissimilar, duplex, API

I. INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento de novos produtos há uma demanda em se estudar o comportamento mecânico devido à interação de diferentes materiais. Uma aplicação muito comum em refinarias de petróleo e plantas de geração de energia termoelétrica é a necessidade de se soldar materiais dissimilares, ou seja, materiais diferentes em composição química e propriedades [1]. É uma técnica de junção utilizada com mais frequência quando é necessária uma transição entre propriedades mecânicas ou desempenho em serviço, especialmente entre aços Cr-Mo e aços inoxidáveis austeníticos como em tubulações que estão expostas a temperaturas elevadas e em condições cíclicas sujeitas a ambientes corrosivos (recipientes sob pressão, caldeiras, trocadores de calor de indústria de geração de energia e plantas petroquímicas) [2].

Entretanto, o estudo de um cordão de solda produzido por um processo de soldagem, especialmente em materiais dissimilares, no qual há interação de diversas variáveis de entrada não é trivial. As diferenças existentes entre os coeficientes de expansão térmica para os diferentes materiais promovem acúmulo de tensões residuais numa junta soldada durante as variações de temperatura, além disso, fenômenos de corrosão podem ser ampliados devido às proporções de elementos de ligas que cada um dos materiais dissimilares possui [3]. Os vários de parâmetros controláveis de entrada, como tensão, corrente e velocidade de soldagem, bem como a interação existente entre eles

compondo assim a energia de soldagem (heat input) são responsáveis pelas características finais de um cordão de solda [4,5].

Uma aplicação dos aços da classe API está no transporte e exploração de hidrocarbonetos pelos chamados Risers, porém na chamada “splash zone” (região três metros acima e três metros abaixo do nível do mar) os problemas envolvendo corrosão são ampliados, devido ao movimento das marés que causam ciclos de umedecimento e secagem. Como alternativa a esse problema, tem sido usada proteção catódica ou a utilização metal de sacrifício. Outra possível solução para este problema seria a substituição, apenas na “splash zone” por um aço inoxidável que possui boa resistência à corrosão nesse meio (diminuindo os custos de operação) [6].

Um dos problemas na soldagem de materiais dissimilares está na formação de compostos intermetálicos na região soldada responsáveis pela formação de trincas, perda de ductilidade, corrosão dentre outros, de modo que a microestrutura do material da região fundida e sua zona termicamente afetada (ZTA), aliada ao seu comportamento eletroquímico, desempenham um papel importante no estudo de uma junta dissimilar [7]. Durante a formação desses compostos, tensões residuais podem se desenvolver na região soldada devido a diminuição da temperatura ocorrendo uma transição dúctil/frágil. Para se evitar a formação deste tipo de compostos indesejáveis, adições de elementos de liga contendo, por exemplo, níquel ou vanádio tem sido feitos.

Além disso, podem existir diferenças acentuadas de propriedades (especialmente entre materiais extremamente diferentes, como uma junta dissimilar formada por um aço inoxidável e um aço de baixo carbono), nas zonas de transição. Praticamente todos os processos de soldagem conhecidos (a frio, soldagem ultra-sônica, difusão, por fricção, feixe de elétrons, a arco por pontos e etc.) podem ser utilizados na soldagem de materiais dissimilares [8].

A fim de expandir essa discussão foi realizada a união autógena entre um aço inoxidável SAF 2304 com um API 5L X80 pelo processo GTAW (Gas tungsten arc welding). A energia de soldagem utilizada foi escolhida mediante a literatura disponível para o duplex. Após a soldagem, foi realizada análise microestrutural e eletroquímica para que seja possível avaliar os pontos positivos e negativos de cada cordão e assim enriquecer o conhecimento sobre a união de materiais dissimilares [9,10].

II. MATERIAIS E MÉTODOS

A. Materiais

A Tabela 1 apresenta a composição química nominal obtida via espectroscopia de emissão ótica dos metais de base utilizados. Os experimentos de soldagem foram realizados sobre chapas de 130 mm x 45 mm x 4 mm.

TABELA 1- COMPOSIÇÃO QUÍMICA (% EM PESO) DOS METAIS DE BASE

Classe	C	Mn	Si	P	V	Cr	Ni	Mo
SAF 2304	0,022	1,53	0,326	0,016	0,019	22,36	3,25	0,252
API 5L X80	0,069	1,73	0,181	0,013	0,032	0,306	0,02	0,22

B. Descrição dos Equipamentos

Foi utilizada uma fonte de soldagem inversora sinérgica multiprocesso cuja fabricação pertence à “Eutetic Castolin®”. Além disso, foi usado um sistema de posicionamento e deslocamento automático da tocha de soldagem (para controle da velocidade de soldagem). Durante a soldagem dos corpos de prova, os valores instantâneos de corrente e de tensão foram coletados através de um sistema de aquisição de dados portátil, no qual armazena instantaneamente dados de tensão, corrente, vazão do gás e potência média a cada 0,2 ms, além disso, o sistema possui um software que fornece os oscilogramas de tensão e de corrente.

C. Procedimento Experimental

A soldagem foi realizada na posição plana com ângulo de inclinação de 90° utilizando-se uma fonte de soldagem operando no modo corrente constante com eletrodo em polaridade negativa. O gás utilizado foi argônio puro cuja vazão foi ajustada em 15cm³/min. A distância entre o eletrodo de tungstênio e a peça foi da ordem de 1,5 mm. Os experimentos foram realizados em duplicata para que uma média de cada uma das respostas fosse obtida. Os valores de corrente (160A) e velocidade de soldagem (Vs em mm/s) foram selecionados usando ensaios de pré-soldagem para atingir as melhores condições geométricas e metalúrgicas do cordão de solda para uma espessura de metal de base de 4 mm.

Os valores instantâneos de corrente (I) e tensão (U), foram lidos através de um sistema de aquisição de dados fornecendo uma quantidade de pontos suficientes para obtenção das médias de I e U para cada ensaio, possibilitando o cálculo da energia de soldagem real (1).

$$E=(I \cdot U) / V_s \quad (1)$$

Após a formação do corpo de prova as amostras obtidas foram preparadas para os experimentos de caracterização microestrutural e eletroquímica convencional. Foram realizadas microscopia óptica, microscopia eletrônica e EDS nos quais as amostras preparadas seguiram a técnica metalográfica padrão (lixamento, polimento e ataque). Após o lixamento e polimento as amostras foram atacadas com Nital (3% e 10%) e pelo reagente Beraha, composto por 20 mL de ácido clorídrico (HCl), 80 mL de água destilada e 0,3 g de metabissulfeto de potássio.

As medidas eletroquímicas de polarização foram realizadas de acordo com a norma ASTM G5-94, utilizando

um potenciostato/galvonostato da marca Autolab 128N. Uma célula padrão com três eletrodos foi empregada. Foram utilizados como eletrodos de trabalho os metais de base e uma amostra do cordão de solda com área geométrica de 1 cm² (longitudinal), um contra-eletrodo de platina e o eletrodo de referência de prata/cloreto de prata. As curvas de polarização foram obtidas a partir da varredura do potencial de OCP à temperatura ambiente, levando em consideração a variação da densidade de corrente durante o procedimento. A varredura iniciou-se no potencial de corrosão de cada aço, a uma taxa de 0,333 mVs⁻¹ (1,2 Vh⁻¹) até atingir o potencial de pite(Epite).

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 1 mostra a representação esquemática da geometria do cordão de solda para um processo de soldagem GTAW autógeno. O cordão de solda apresentará uma região de mistura (zona fundida) formada pelos metais de base (API e lean duplex). A partir da linha de fusão (linha central) parte do cordão irá ocupar uma área que anteriormente só existia o metal de base API (A_{API}) e outra área que inicialmente era constituída apenas pelo duplex (A₂₃₀₄).

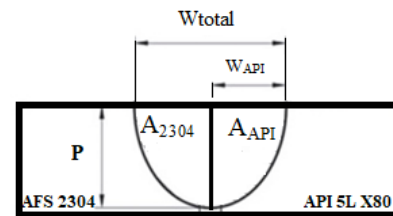


Fig. 1. Representação esquemática do cordão de solda

A Tabela 2 apresenta os valores médios reais de corrente, tensão, e energia de soldagem obtidos para uma corrente nominal de 160A lidos através do sistema de aquisição de dados. Além disso, a tabela também exibe os valores obtidos referentes à geometria dos cordões de solda baseado na Figura 1. Além disso, a razão entre as áreas A_{API}/A₂₃₀₄ é de aproximadamente 1, ou seja, a diluição entre os dois metais de base é de aproximadamente 50%.

TABELA 2. ASPECTOS GEOMÉTRICOS DO CORDÃO DE SOLDAS.

W _{total} (mm)	W _{Duplex} (mm)	W _{API} (mm)	P (mm)	A _p (mm ²)	U (Volts)	I (A)	E (kJ/mm)
7,01	2,78	3,97	2,41	11,79	163	15,5	0,63

A. Avaliação Microestrutural dos metais de base e da zona termicamente afetada

A microestrutura do cordão de solda pode ser dividida em três regiões distintas independentemente do aporte térmico:

- Região Formada pelo metal base API 5L X80 e sua interface com a zona fundida (Zona Termicamente Afetada, ZTA).
- Região Formada pelo metal base duplex SAF 2304 e sua interface com a zona fundida (Zona Termicamente Afetada, ZTA).

- Região formada pela mistura dos dois materiais, Zona Fundida.

A Figura 2 apresenta a micrografia do metal base API 5L X80 obtida a partir de amostras no sentido transversal à superfície da chapa. Através do ataque químico com o reagente Nital 3% é possível observar os contornos de grão da Ferrita Poligonal (aspecto claro com finos contornos escuros devido à recristalização da austenita apresentando grão de ferrita poligonal e tamanho de grão heterogêneo) e da revelação da Perlita. Ainda, a figura mostra grãos de ferrita de maior tamanho alongadas em forma, provavelmente resultado de um mecanismo de migração de contorno de grão induzido pelo encruamento [11].

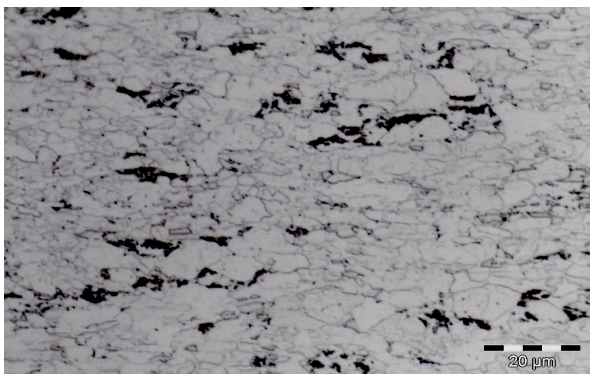


Fig. 2. Micrografia do metal de base API 5L X 80. Nital 3%.

A Figura 3 mostra a presença de pequenas áreas de microconstituintes de martensita e austenita localizados próximos a bainita. É possível observar a presença de ferrita poligonal e em menor quantidade a presença de colônias de bainita granular junto com o microconstituente MA (encontrado dentro de colônias de bainita e nos contornos de grão de ferrita) [12].

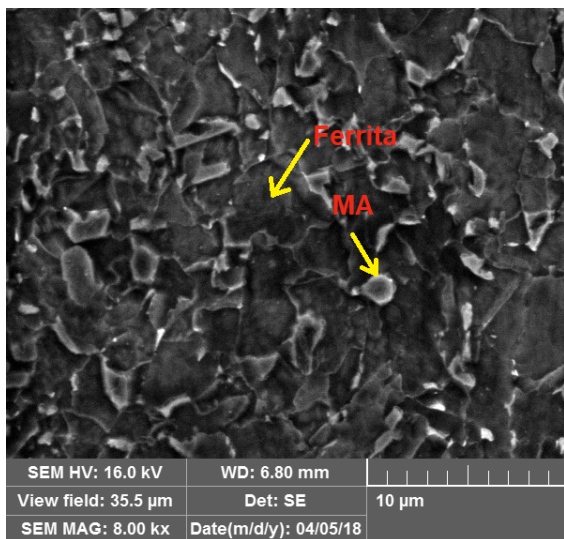


Fig. 3. Aspecto Micrográfico do metal de Base API 5L X 80 formado por uma matriz de ferrita poligonal, agregados eutetóides e MA.

Em geral, a zona afetadas pelo calor do API (Figura 4) apresentou duas regiões: Uma região de grãos grosseiros (próximos à zona fundida) e uma região de transição de grãos finos (entre metal de base e a região de granulação grosseira).

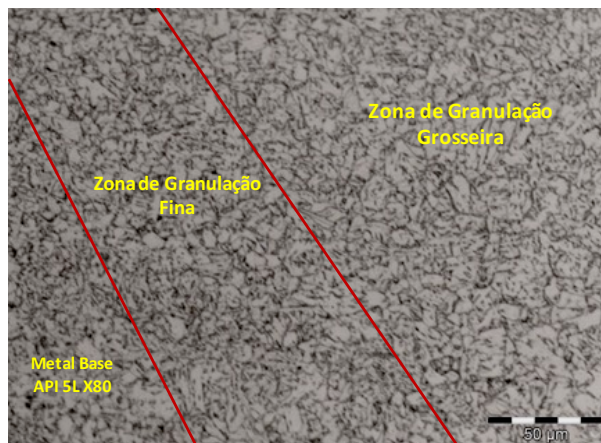


Fig. 4. Aspecto Micrográfico da zona termicamente afetada evidenciando a região de grãos finos e grosseiros. Nital 3%.

As Figuras 5 e 6 apresentam as microestruturas típicas encontradas na ZTA na interface API/zona. Na figura 6 é possível observar a presença de ferrita poligonal (nucleada nos contornos da austenita, caracterizada pelo seu aspecto claro e liso, podendo ocorrer na forma de Ferrita Primária (PF), além disso é perceptível a presença de Bainita (B) de aspecto escuro.

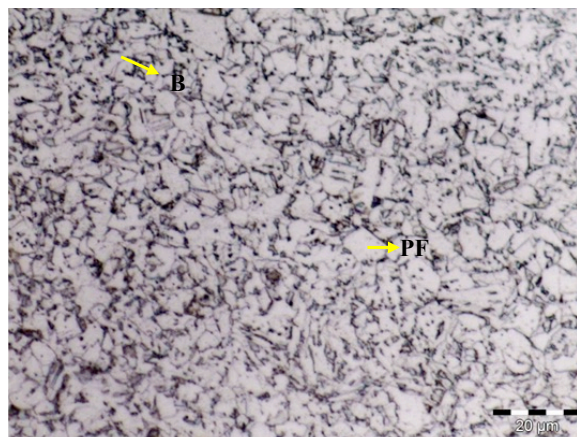


Fig. 5. Aspecto Micrográfico do metal de Base na região de granulação fina. Nital 3%

A Figura 6 apresenta a microestrutura da região de granulação grosseira obtida via microscópio eletrônico de varredura para. É possível observar, além da presença de ferrita poligonal (PF) e do microconstituente MA, há a formação da ferrita de Widmanstätten (FW).

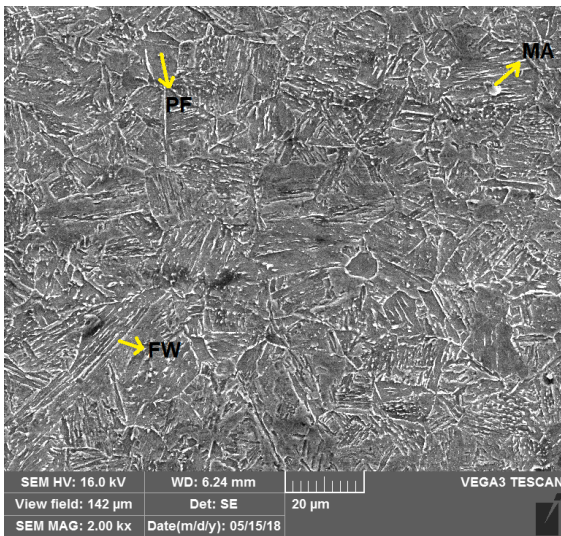


Fig. 6. Micrografia via Microscópio Eletrônico de Varredura do metal de Base na região da ZTA indicando a presença de ferrita de Widmanstätten Micrográfico do metal de Base na região de granulação fina. Nital 3%

O aço inoxidável duplex SAF 2304 apresenta na região distante da zona afetada pelo calor uma fase austenítica com grãos apontando em uma orientação preferencial que é resultante do processo de fabricação destes tipos de aço. Para avaliar a microestrutura do metal de base duplex e da zona termicamente afetada foi utilizado o reagente Beraha (20 mL de ácido clorídrico, 80 mL de água destilada e 0,5 g de metabissulfito de potássio para 100 mL de solução aquosa) que distingue bem as fases γ (escura) e α (clara) presentes em um aço inoxidável duplex (Figura 7).

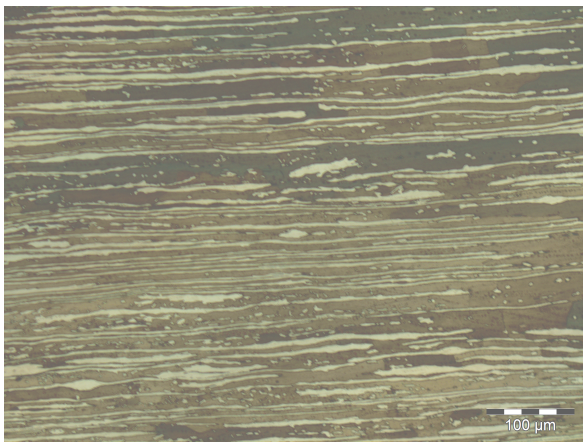


Fig. 7. Aspecto Micrográfico do metal de base Duplex 2304. Ataque Beraha.

A Figura 8 o apresenta o característico crescimento de grãos da ZTA. É possível observar a formação de distintas morfologias da austenita. Foram observadas na matriz de grãos grosseiros de ferrita e três diferentes morfologias da austenita. A Austenita Alotriomórfica (AA) nucleada heterogeneamente nos contornos de grãos da ferrita durante o processo de resfriamento. A Austenita de Widmanstätten (WA) que nucleia-se nos contornos de grão da ferrita delta ou da austenita. E, por fim, a formação da Austenita

Intragranular (IA), formada dentro dos grãos de ferrita [10,13].

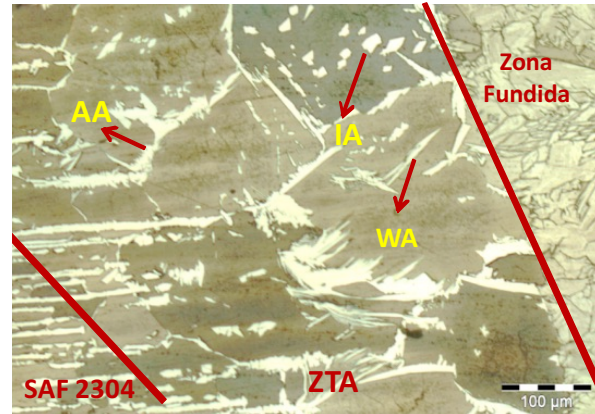


Fig. 8. Aspecto Micrografico da ZTA indicando a presença de Austenita Alotriomórfica (AA), Austenita Intragranular (IA) e Austenita Widmanstätten (WA). Ataque Beraha. Micrográfico do metal de base Duplex 2304. Ataque Beraha.

B. Avaliação Microestrutural da Zona Fundida

Foi realiza uma varredura em linha por Espectroscopia de raios-X por energia dispersiva (EDS) do metal de base duplex até o metal de base API (total de 20 pontos). Pode-se observar pela Figura 9 as variações de Cr, Ni e Mn. Há um gradiente evidente desses elementos à medida que se aproximam da zona fundida, no qual a variação de Cr ao longo da linha é muito maior do que a do Ni. A proporção de Mn na zona fundida é praticamente constante.

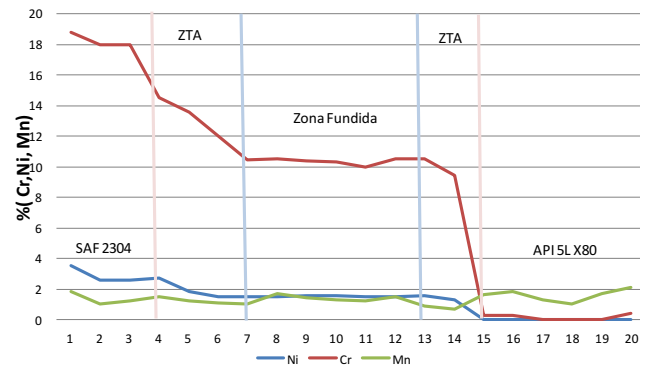


Fig. 9. A Gradiente de Cr, Ni e Mn (%) ao longo do cordão de solda via Espectroscopia de raios X por energia dispersiva (EDS).

Além disso, a Figura 10 apresenta a microestrutura obtida a partir do ataque com o reagente Nital 10% na zona fundida. É possível observar grãos alongados em formato acicular ao longo de todo o cordão, ainda, a região fundida apresenta grãos bem delineados que se assemelham a Ferrita Primária de Contorno de Grão (PF(G)) e Ferrita Poligonal Intragranular (PF(I)).

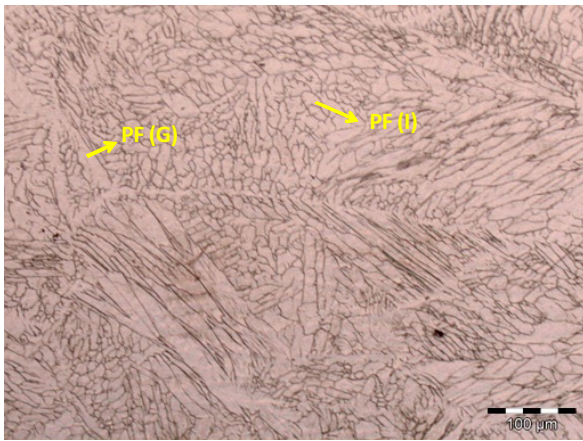


Fig. 10. Micrografico da Zona Fundida. Nitral 10%.

A Figura 11 apresenta o aspecto micrográfico do cordão de solda utilizando o reagente Behara modificado, no qual, foi acrescentado à solução cloreto férrico $FeCl_2$.

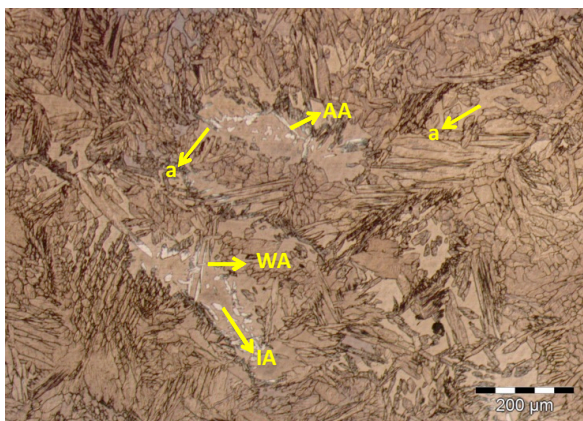


Fig. 11. Aspecto Micrografico da Zona Fundida. Behara modificado.

A figura indica a presença de austenita (alotriomórfica, intragranular e de Widmanstätten) e ferrita, ambas apresentando morfologia semelhante à encontrada no lean duplex, pode estar associado a não transformação austenítica do metal de base (SAF 2304) durante o processo de soldagem em algumas regiões da zona fundida, assim pequenas quantidades de ferrita e austenita permaneceram inalteradas. Este fato pode estar associado a uma elevada velocidade de soldagem que, para o aporte térmico usado, não foi suficiente para promover o aquecimento necessário para que toda a austenita se transformasse uniformemente ao longo de todo o cordão [14].

C. Perfil de Dureza

A microdureza Vickers foi realizada com o objetivo de conhecer a dureza da junta soldada. Para tal investigação, foi realizado um perfil de microdureza (Figura 12) a partir da linha de fusão (região central da solda) até os respectivos metais de base. Observa-se um aumento da dureza na região soldada em relação aos metais de base. Esse aumento pode estar relacionado às fases que se formaram nesta região durante o processo de resfriamento da poça de fusão. Há

nessa região a formação de microestruturas com morfologia ligeiramente diferentes metais de base. Como o resfriamento nesta região foi relativamente rápido e de forma irregular foram encontradas microestruturas dos mais variados tamanhos, orientações e morfologia, nesta região foram encontradas de microestruturas de formato acicular que conferiram um aumento de dureza nesta região.

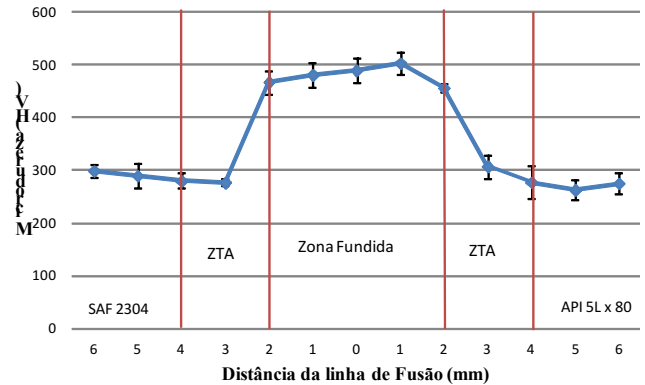


Fig. 12. Perfil de Dureza.

Ainda, foram encontrados valores de microdureza superiores a 440 HV que sugerem o surgimento de uma microestrutura martensítica, provavelmente formada devido à difusão de átomos de carbono do API X- para o metal de solda (menor teor de carbono). Assim, provavelmente, alguns átomos de carbono durante o resfriamento são encapsulados na estrutura cristalina dos átomos de ferro antes que eles possam se dissipar resultando assim em uma solução supersaturada de carbono em ferro alfa [6].

D. Avaliação da Resistência à Corrosão

A Figura 13 apresenta o potencial de circuito aberto para região solda comparada com seus respectivos metais de base à temperatura ambiente para uma solução de NaCl 3,5%. A figura mostra um potencial de abandono para o duplex de aproximadamente -0,2V caracterizando um comportamento estável e superior ao API e a região soldada. Tanto o API quanto a região soldada apresentaram baixo potencial. Assim, a região soldada apresentou um desempenho inferior ao duplex em uma solução contendo íons cloreto, porém, apresentou um comportamento superior ao mostrado pelo API.

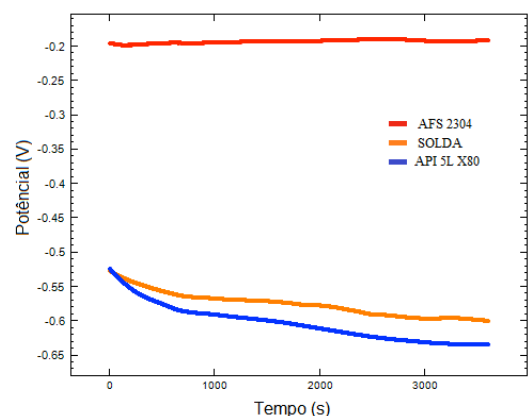


Fig. 13. Potencial de Circuito Aberto.

A Figura 14 apresenta as curvas de polarização anódica dos aços partindo do potencial de -200mV até 200mV. O filme passivo do duplex apresentou um aumento na densidade de corrente. Com aplicação de sobrepotencial o filme apresenta boa resistência à corrosão. Acima de 0,3V, ocorrem aumentos nas densidades de corrente o que indica o surgimento de pites. Para a região soldada, verifica-se que, o cordão de solda apresentou uma resistência à corrosão superior ao API. Essa pequena superioridade pode estar relacionada à migração de cromo e níquel do duplex para a zona fundida..

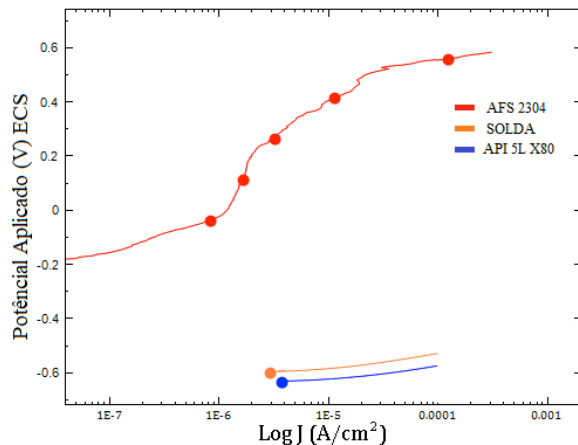


Fig. 14. Curvas de polarização potenciodinâmica anódica

IV. CONCLUSÕES

Os estudos mostraram transformações microestruturais significativas de ambos os metais de base na região da zona afetada termicamente. Além dos microconstituintes encontrados no metal base API os resultados mostraram a presença de ferrita primária e de Widmanstätten na ZTA. A zona afetada pelo calor do duplex, além do característico crescimento de grão, apresentou uma região no qual ocorreu a transformação da austenita em três outras morfologias (intragranular, Widmanstätten e alotriomórfica).

A Zona fundida apresentou uma região completamente diferente dos metais de base apresentando uma estrutura de grãos bem definidos e refinados e até mesmo aciculares. Resultados de microdureza nessa região apontaram valores acima dos encontrados nos metais de base em determinadas fases que sugerem a presença de uma microestrutura martensítica. O resultado da avaliação da resistência à corrosão da zona fundida apontam para um ganho em desempenho do cordão de solda em relação ao API, porém inferior ao duplex.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES, CNPq.

REFERÊNCIAS

- [1] Wang S, M.A Q, Li Y. Characterization of microstructure, mechanical properties and corrosion resistance of dissimilar welded joint between 2205 duplex stainless steel and 16MnR. *Materials Design*. 2010. v. 32, p. 831–837.
- [2] Moteshakker A, Danaee I, Moeinifar S, Ashrafi A. Hardness and tensile properties of dissimilar welds joints between SAF 2205 and AISI 316L. *Science and Technology of Welding and Joining*. 2016.v. 21, p. 1-10.
- [3] Kumar S, Shahi A.S. Effect of heat input on the microstructure and mechanical properties of gas tungsten arc welded AISI 304 stainless steel joints. *Materials & Design*. 2010. v.32, p. 3617 - 3623.
- [4] Tasalloti H, Kah P, Martikainen J. Effect of heat input on dissimilar welds of ultra high strength steel and duplex stainless steel: Microstructural and compositional analysis. *Materials Characterization*.2017. v. 123, p. 29 – 41.
- [5] Shahid F, Khan A.A, Hameed M.S, Mechanical and microstructural analysis of dissimilar metal welds. *International Journal of Recent Research and Applied Studies (IJRRAS)*. 2015. v. 125, p. 1-9.
- [6] Mendonza B.I, Maldonado Z.C, Albitzer, H.A, Robles P.E. Dissimilar welding of superduplex stainless steel/HSLA steel for offshore applications joined by GTAW. *Engineering, Scientific Research Publishing*. 2010.v. 2, p. 520 -528.
- [7] Sadeghian M, Shamanian M, Shafyei A. Effect of heat input on microstructure and mechanical properties of dissimilar joints between super duplex stainless steel and high strength low alloy steel. *Materials & Design*. 2014. v. 60, p. 678 – 684.
- [8] Moteshakker A, Danaee, I.; Hardness, Moeinifar S, Ashrafi, A. Hardness and tensile properties of dissimilar welds joints between SAF 2205 and AISI 316L. *Science and Technology of Welding and Joining*. 2016. v. 21, p. 1-10.
- [9] Tasalloti H, Kah P, Martikainen J. Effect of heat input on dissimilar welds of ultra high strength steel and duplex stainless steel: Microstructural and compositional analysis. *Materials Characterization*. 2017. v. 123, p. 29 – 41.
- [10] Fonseca G.S, Barbosa L.O.R, Ferreira E.A, Xavier C.R, Castro J.A. Microstructural, Mechanical, and Electrochemical Analysis of Duplex and Superduplex Stainless Steels Welded with the Autogenous TIG Process Using Different Heat Input. *Metals*. 2017. V.7, p.538-559.
- [11] Fernandes P.E.A. Avaliação da tenacidade à fratura da zona afetada pelo calor (ZAC) do aço API 5L X80 soldado pelos processos SMAW e FCAW. 2011. 109 f. Tese (Doutorado em Engenharia Naval e Oceânica) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- [12] Eroglu M, Aksoy M. Effect of initial grain size on microstructure and toughness of intercritical heat affected zone of a low carbon Steel. *Materials Science & Engineering: A*.2000 .vol. A286,. p. 289-297.
- [13] Nunes E.B, Motta M.F, Abreu H.F.G, Farias J.P, Miranda H.C, Junior, F.N.A. Estudo dos efeitos da restrição na microestrutura, microdureza e tenacidade em juntas soldadas em aço inoxidável duplex. *Soldagem e Inspeção*. 2011.v. 16, n. 2, p. 156-164.
- [14] Pereira, P.A.S. Efeito da energia de soldagem na microestrutura de um aço inoxidável duplex e super duplex. 2009. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes – RJ.

Avaliação da taxa de aquecimento do briquete de minério de ferro com biomassa de capim elefante utilizando energia de micro-ondas.

Rayla de Souza Caldas^a, Marisa Nascimento^b, Leonardo Martins da Siva^a, Elizabeth Mendes^c,
Anderson Virgilio de Queiroz^a, Márcio Teodoro Fernandes^a, José Adilson de Castro^a

^aUniversidade Federal Fluminense, Av. dos Trabalhadores 420 - Vila Sta. Cecília,
CEP 27255-125 Volta Redonda – RJ, Brasil

^bCentro de Tecnologia Mineral, Avenida Pedro Calmon, 900 - Cidade Universitária CEP 21941-908,
Rio de Janeiro – RJ, Brasil

^cCentro Federal de Tecnologia, Rua do Areal, 522, Pq Mambucaba, Angra dos Reis, CEP: 23953-030,
Rio de Janeiro – RJ, Brasil

Resumo - O aço é a liga metálica de maior utilização no mundo e forma uma cadeia produtiva que envolve o desenvolvimento e aplicações em diversos setores do mercado. Porém, o setor siderúrgico é responsável pela geração de muitos resíduos sólidos ultrafinos durante sua fabricação, como as poeiras de altos-fornos e de aciaria. O reuso desses resíduos torna-se de suma importância para o setor e, principalmente, em respeito às questões ambientais, visto que seu descarte de forma errônea pode gerar grandes problemas. Desta forma, as indústrias siderúrgicas tentam reaproveitá-los na briquetagem, servindo então, como alimentação nos processos de redução.

Outro processo inovador estudado atualmente está no aquecimento de partículas de minério de ferro utilizando energia de micro-ondas. O mesmo tem se mostrado eficaz devido às diferentes interações entre os minerais presentes na ganga e o campo magnético.

Sendo assim neste trabalho, foi avaliada a utilização da energia de micro-ondas como fonte de aquecimento de um briquete, cuja composição principal é dada por minério, pó de aciaria e capim elefante como fonte de biomassa, para dois tempos distintos. Para tanto foi avaliada a taxa de aquecimento do briquete no interior do forno micro-ondas utilizando o aquisitor *Spider* bem como foi utilizada a técnica de difração de raios-X para estudar a composição das fases mineralógicas da amostra de minério de ferro e o microscópio eletrônico de varredura (MEV) para analisar a forma e a composição da amostra após o aquecimento.

Palavras-chave: Minério de ferro; Pó de Aciaria; Briquete; Micro-ondas.

I. INTRODUÇÃO.

O aço é a liga metálica de maior utilização no mundo e forma uma cadeia produtiva que envolve o desenvolvimento e aplicações em diversos setores do mercado. Por isso, sempre se encontra em evolução gradativa, visando maior eficiência energética, melhor uso de recursos naturais e maior vida útil de equipamentos. Porém, o setor siderúrgico é responsável pela geração de muitos resíduos sólidos ultrafinos, como as poeiras de altos-fornos e aciaria (MEDEIROS, 2010), que, se descartados erroneamente (em aterros, por exemplo), podem causar degradação do solo e contaminação de lençóis freáticos, gerando altos custos para a empresa e também muitos problemas ambientais. Assim, o reuso destes produtos é de suma importância para o setor e, principalmente, em respeito às questões ambientais.

A característica das poeiras varia com a siderúrgica, mas em sua maioria são encontrados elementos como ferro, zinco, silício, entre outros, dependendo da composição da sucata utilizada. Na aciaria elétrica, por exemplo, o zinco representa a maior parte da poeira, podendo variar de 7 a 40%, devido ao grande uso de sucata de aços galvanizados, aparecendo na forma de zincita (ZnO) e ferrita de zinco (ZnFe₂O₄). A poeira é formada a partir da volatilização dos componentes da carga, que entram na fase de vapor durante a fusão da sucata, e seque e aglomeração e transformações físico-químicas, quando este vapor é resfriado e coletado no sistema de gás

(OMRAN e FABRITIUS, 2016). Para o reaproveitamento destes resíduos, as indústrias siderúrgicas recorrem à pelotização ou à briquetagem (MEDEIROS, 2010).

Tratando-se das formas de aquecimento desses aglomerados, o processo inovador de aquecimento por micro-ondas oferece uma série de vantagens sobre os aquecimentos convencionais, tais como o aquecimento rápido, seletivo e volumétrico que se inicia a partir do interior do corpo do material, tendo a possibilidade de uma rápida parada, devido à possibilidade de uma maior automação do sistema.

A energia de micro-ondas é uma radiação eletromagnética não-ionizante com frequências na faixa de 300 MHz a 300 GHz. Frequências de micro-ondas incluem três bandas: A ultra alta frequência (UHF): 300 MHz a 3 GHz, a frequência super-alta (SHF): 3 GHz a 30GHz e a frequência extremamente elevada (EHF): 30 GHz a 300 GHz.

O micro-ondas tem uma aplicação extensiva no campo da comunicação, no entanto, a Comissão Federal Americana de Comunicação (FCC) separou determinadas frequências industriais, científicas, médicas e de instrumentação ISMI e aplicações domésticas (MEVALORES *et al.*, 1983; HAQUE *et al.*, 1998; STANDISH & WORNER, 1991; CHENG *et al.*, 2012; GUO *et al.*, 2009, KINGMAN, 2006). Atualmente a frequência de 2450 MHz é a mais comum e utilizada para os fornos de micro-ondas domésticos inventados por Percy Spencer há quase 50 anos (SPENCER, 1949; SCHIFFMANN, 1995). A energia de micro-ondas tem uma eficiência de conversão de cerca de 50% na frequência de 2450 MHz e 85% em 915 MHz. As micro-ondas têm comprimentos de onda mais longos e maiores quantidades de energia disponíveis em comparação com outras formas de energia eletromagnética como a luz visível, raios ultravioleta ou infravermelho (PETERSON, 1998).

O aquecimento de um material por micro-ondas depende, em grande escala de seu fator de "dissipação", ou seja, da proporção de perdas dielétricas ou perda da constante dielétrica do material. A constante dielétrica é uma medida da capacidade de o material retardar a energia de micro-ondas uma vez que a perda é uma medida da habilidade do material em dissipar a energia. Em outras palavras, o fator de "perda" representa a quantidade de energia eletromagnética emitida pelo micro-ondas que se perde no material por ser dissipada no mesmo em forma de calor (HAQUE,1998). Portanto, um material com alto fator de "perda" é facilmente aquecido por energia de micro-ondas.

As micro-ondas são refletidas a partir de superfície metálica e, portanto, não aquecem metais. Metais em geral, têm alta condutividade e são classificados como condutores. Condutores são muitas vezes utilizados como guia de ondas para micro-ondas. Materiais que são transparentes para micro-ondas são classificados como isolantes. Isolantes são frequentemente utilizados em fornos de micro-ondas para apoiar o material a ser aquecido. Materiais que são excelentes absorventes de energia de micro-ondas são facilmente aquecidos e são classificados como dielétricos (HAQUE, 1998).

Os materiais não homogêneos em termos de propriedade dielétrica não são aquecidos de maneira uniforme, isto é, algumas partes são aquecidas mais rapidamente do que outras. Este fenômeno é frequentemente referido como fuga térmica (MEVALORES, 1983). A eficácia do aquecimento por micro-ondas em um material semicondutor é dependente da temperatura inicial e acima de certa temperatura crítica, os materiais isolantes respondem ao aquecimento por micro-ondas (HAQUE, 1998).

IV Congresso Ibero-Americano de Empreendedorismo, Energia, Ambiente e Tecnologia

Sendo assim, o presente trabalho avalia a utilização da energia de micro-ondas como fonte de aquecimento de briquete, cuja composição principal inclui minério de ferro, pó de aciaria elétrica e capim elefante como fonte de biomassa para dois tempos distintos: 550 e 900s. Ao final foi analisada a taxa de aquecimento do briquete, bem como a composição e a forma das fases mineralógicas do mesmo após o aquecimento.

II. Materiais e Métodos.

2.1 Caracterização dos finos.

A caracterização dos finos utilizados como matéria-prima para os briquetes foi realizada através de análise química em difratometria de raios-X (DRX) e em espectroscopia de raios-X por dispersão de energia (EDS) e através de análise granulométrica. A DRX foi realizada no Centro de Tecnologia Mineral (CETEM – RJ) e a EDS e a análise granulométrica realizadas em laboratório na PPGEM/UFF, em Volta Redonda – RJ.

A difratometria tem a finalidade de identificar as fases mineralógicas presentes, enquanto que a espectroscopia identifica os elementos presentes na amostra em questão.

Os finos de minério de ferro são provenientes da região do Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais e foram inicialmente cominuídos em moinho de barras nas instalações do CETEM – RJ. A Tabela 1 mostra a composição mineralógica da amostra de minério de ferro, através de análise em DRX.

As principais fases identificadas através do método foram hematita, quartzo e goetita, devido à ausência de compostos apatíticos e aluminossilicatados. A análise química foi realizada utilizando o método de espectrometria de ultravioleta.

Tabela 1 - Composição mineral da amostra de minério de ferro (% por fração mássica).

MINERAL	FRAÇÃO MÁSSICA (%)
HEMATITA (Fe ₂ O ₃) (1)	72,89
CAULINITA [Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄] (2)	4,64
QUARTZO (SiO ₂) (3)	12,05
GIBSITA[Al(OH) ₃] (4)	3,18
GOETITA [FeO(OH)] (5)	7,25

A poeira de aciaria utilizada neste trabalho foi doada pela empresa Rio Metalúrgica S/A, em Duque de Caxias. Sua análise química foi realizada através de ensaio em EDS e o resultado aparece na Tabela 2. É possível perceber o alto teor de zinco presente, confirmando dados citados anteriormente.

Tabela 2 - Análise em EDS: Elementos presentes no pó de aciaria elétrica.

Constituintes	Zn	O	C	Fe	Cl	K	Pb	Mn	
%p/p	31,14	22,47	16,22	14,13	5,40	3,43	1,63	1,49	
Constituintes	Mg	Si	Nb	Ca	Mo	Lu	Pd	Cr	P
%p/p	0,90	0,88	0,79	0,60	0,37	0,20	0,18	0,12	0,04

A biomassa de capim elefante foi cedida na forma de blocos aglomerados, produzidos pela Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), em Campos dos Goytacazes. Tais blocos foram cominuídos manualmente em almofariz (Gral) de Ágata com pistilo para que pudessem ser moídos em moinho de bolas no Laboratório de Metalurgia Extrativa. Assim como para a poeira de aciaria, sua análise química também foi realizada em EDS com resultados descritos na Tabela 3.

Tabela 3 - Análise em EDS: Elementos presentes na biomassa de capim elefante.

Constituintes	C	O	K	Au	As
%p/p	83,77	12,85	1,49	1,01	0,88

O aglomerante utilizado foi o cimento *Portland* comum, tendo sua amostra retirada de lote comercial, cuja composição química típica aparece na Tabela 4.

Tabela 4 - Composição química típica do cimento *Portland* comum (MEHTA; MONTEIRO, 1993).

Constituintes	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Outros
% p/p	65,0	21,2	6,2	2,9	2,0	2,7

A análise granulométrica das amostras foi realizada manualmente no Laboratório de Metalurgia Extrativa, localizado na PPGEM/UFF, respeitando uma sequência de séries padrão, na qual as aberturas das peneiras carregam uma relação constante entre si igual a 1,414 (WILLS; NAPIER-MUNN, 2006).

Para a confecção dos briquetes foram consideradas apenas as partículas com granulometria inferior a 53µm.

2.2 Confecção dos briquetes utilizados.

O briquete utilizado neste trabalho foi confeccionado a partir mistura autorredutora com proporções previamente estabelecidas, fixando-se os teores de carbono fixo da biomassa de capim elefante, do pó de aciaria e do cimento em 20%, 15% e 12,5%, respectivamente. A partir de regra de três simples, foi calculado teor da biomassa de capim elefante e os finos de minério de ferro foram o complemento da mistura. A Tabela 5 resume estas informações.

Tabela 5 - Composição da mistura autorredutora utilizada na confecção dos briquetes.

Matéria-prima	Teor (%)
Pó de Aciaria	15,00
Cimento	12,50
Capim Elefante	35,71
Minério de Ferro	36,79
Total	100,00

A confecção dos briquetes se deu a partir da homogeneização dos finos, de acordo com a mistura citada acima, e foi realizada através de ensaios de compressão em prensa hidráulica, modelo EMIC 23-20, com capacidade de 20kN, da marca Instron/EMIC (Figura 1), presente no Laboratório de Mecânica Aplicada, na UFF/PPGEM, com o auxílio de matriz fabricada em aço inoxidável, utilizada como molde, que resultou em briquetes de base de 12mm de diâmetro.

Pesou-se, inicialmente, 4g da mistura homogeneizada e adicionou-se 36 gotas de água, gerando uma amostra com aspecto de “barro úmido”. A água ajuda na atuação do cimento, resultando em um briquete com melhor aglomeração e maior resistência, quando comparado a briquetes obtidos sem adição de água.

A amostra foi, então, colocada no molde e aplicou-se carga de 18,5kN na prensa hidráulica. Após o término do ensaio, o briquete foi retirado do molde, com a ajuda de um martelo, e separado para secagem. Em seguida os briquetes foram identificados e pesados, seguindo para o ensaio em micro-ondas.



Figura 1 – Prensa hidráulica EMIC utilizada em ensaio de compressão para a confecção dos briquetes e briquete resultante do mesmo.

2.3 Análise em forno micro-ondas.

Um reator de micro-ondas convencional (Modelo: PMS - 24) com potência de 1200W emitindo radiação de micro-ondas com frequência de 2450MHz foi utilizado para ensaiar dois briquetes durante tempos distintos de 550 e 900 segundos. No reator de micro-ondas convencional as micro-ondas são geradas através do equipamento denominado magnétron, localizado na parte superior à direita do equipamento. Sendo assim foi posicionada a amostra de minério de ferro na parte inferior à esquerda do equipamento onde foi observado como sendo o local onde há mais incidência de radiação de micro-ondas. O interior do reator tem dimensões de 260mm (altura), 460mm (largura) e 320,3mm

(comprimento). A saída do emissor de micro-ondas encontra-se localizada no canto superior direito.

Na Figura 2 é apresentada o micro-ondas utilizado bem como a utilização do termopar para aquisição da variação de temperatura da amostra briquetada.



Figura 2 - Micro-ondas utilizado bem como a utilização do termopar para aquisição da variação de temperatura da amostra briquetada.

Para aquisição da temperatura foi usado um termopar “tipo K” revestido de cerâmica e acoplado a um equipamento de aquisição de dados da marca Spider, com o software Catman® Professional, a partir do qual é possível a captação da variação de temperatura em função da variação do tempo em segundos.

2.4 Microscopia eletrônica de varredura.

A análise de MEV foi realizada no CETEM-RJ, onde, através da técnica de detecção de raios-x característico, foi possível identificar os diferentes elementos químicos presentes na superfície das partículas. A Figura 3 mostra as imagens obtidas para as amostras submetidas a ensaios térmicos durante 550 e 900 segundos, respectivamente. As Tabela 6 e Tabela 7 mostram as composições das partículas, obtidas através da técnica mencionada, para as amostras submetidas a 550 e 900 segundos de contato com as micro-ondas, respectivamente.

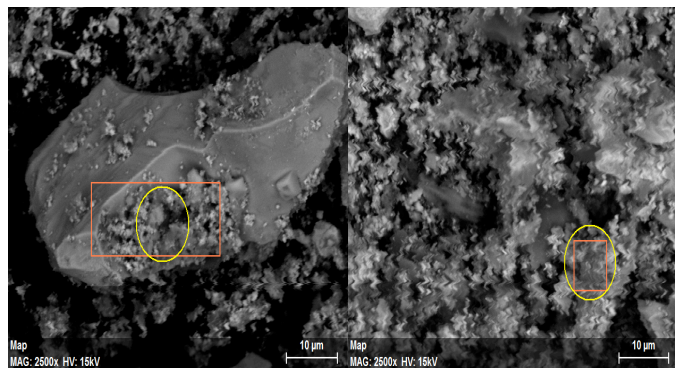


Figura 3 - Imagem de microscopia eletrônica de varredura da partícula submetida a 550 segundos (A) e 900 segundos (B) sob ação de microondas.

Tabela 6 - Composição da partícula obtida através da técnica de detecção de raios-X característico em amostras de briquete após 550s de contato com as micro-ondas.

Elemento	NA	wt. %	wt. % norm.	at. %
Oxigênio	8	16,03	27,47	44,54
Carbono	6	7,51	12,87	27,79
Ferro	26	33,59	57,58	26,74
Cromo	24	0,89	1,53	0,77
Molibdênio	42	0,28	0,48	0,13
Níquel	28	0,04	0,07	0,03
Total		58,34	100,00	100,00

Tabela 7 - Composição da partícula obtida através da técnica de detecção de raios-X característico em amostras de briquete após 900s de contato com as micro-ondas.

Elemento	NA	wt. %	wt. % norm.	at. %
Oxigênio	8	25,54	47,39	67,29
Ferro	26	22,76	42,23	17,18
Carbono	6	4,19	7,77	14,71
Cromo	24	0,53	0,98	0,43
Molibdênio	42	0,57	1,07	0,25
Nióbio	41	0,30	0,56	0,14
Titânio	22	0,00	0,00	0,00
Níquel	28	0,00	0,00	0,00
Total		53,90	100,00	100,00

III. Resultados.

3.1 Análises da taxa de aquecimento das partículas do briquete produzido.

Nas Figura 4 e Figura 5 são apresentados os perfis de aquecimento do briquete durante 550 e 900s de contato com a energia de micro-ondas.

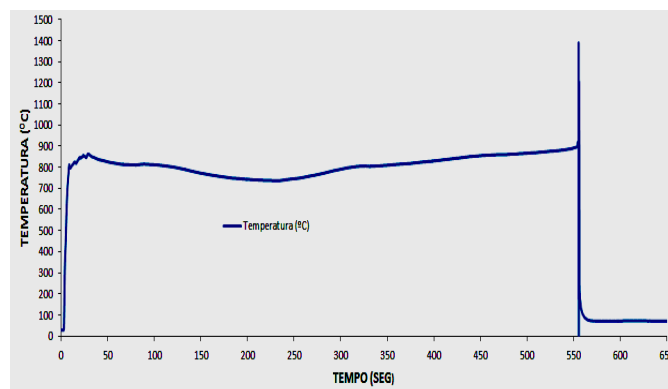


Figura 4 - Perfil de aquecimento do briquete durante 550s em contato com a energia de micro-ondas.

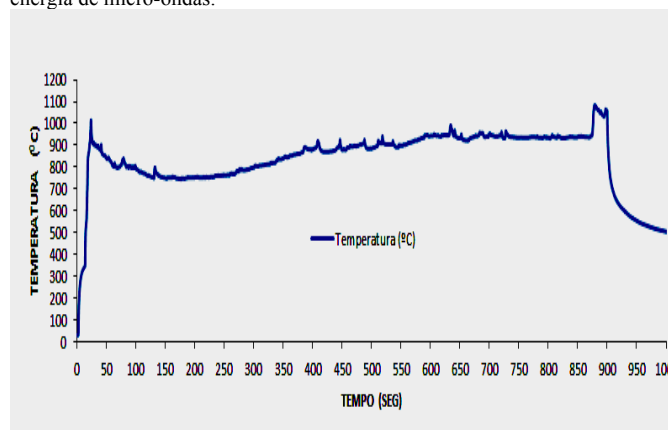


Figura 5 - Perfil de aquecimento do briquete durante 900s em contato com a energia de micro-ondas.

Tabela 8 – Perda de massa dos briquetes obtida durante os ensaios em micro-ondas para 550 e 900s.

Ensaio	Tempo de Ensaio (s)	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)
1	550	2,26	1,39
2	900	2,20	1,38

Foi alcançado o valor de 1000°C durante os primeiros 45s, intervalo após o qual foi observada a permanência da temperatura média em valores entre 700 e 1000°C, ocorrendo um pico de temperatura em 870s.

Indo de encontro ao relatado anteriormente, o trabalho realizado por ROY e AGRAWAL (2010) indicou que a interação do campo magnético com alguns materiais contribui muito na taxa de aquecimento comparado aos materiais expostos ao campo elétrico.

Segundo HAQUE (1998) a temperatura máxima atingida, ocorre devido ao aumento da saturação magnética e da magnetização remanescente das amostras de minério de ferro. Quando se utiliza a frequência de 2450 MHz, o alinhamento das moléculas e seu retorno ao estado de desordem ocorrem $4,9 \times 10^9$ vezes por segundo, o qual resulta em um aquecimento rápido e eficiente. Todavia o aquecimento devido a este processo depende do tempo de relaxação da amostra, sendo definido como o tempo necessário para ordenar totalmente e desordenar 63% da amostra (KRUG, 2004). Ainda segundo HAQUE (1998), a energia de micro-ondas fornece um possível mecanismo para induzir a ruptura entre os minerais de valor no minério e a ganga, ou rocha hospedeira. Tal fato pode ser explicado devido ao diferencial na absorção da energia das micro-ondas e as diferenças térmicas dadas pelos coeficientes de expansão entre as várias fases minerais nas partículas do minério de ferro. Segundo JONES et al. (2005), as fraturas nas partículas de minério ocorrem em todo o contorno de grão entre espécies absorventes e transparentes. Todavia o tratamento pode ser menos eficaz em tamanhos de partículas inferiores em uma aplicação fixa de energia de micro-ondas devido à baixa massa de elementos com diferentes interações com o campo magnético. HAQUE (1998) diz que o aquecimento rápido das partículas de minério ocorrido através da aplicação de energia de micro-ondas em minério com matriz transparente gera estresse térmico de magnitude suficiente para criar microfissuras ao longo dos limites de grão dos minerais. Este tipo de microfissuras tem elevada potencialidade na melhoria da eficiência dos processos de cominuição.

Na Figura 6 é apresentada a composição gasosa em equilíbrio, em função da temperatura, com carbono sólido (*Boudouard*) e com óxidos de ferro e ferro metálico.

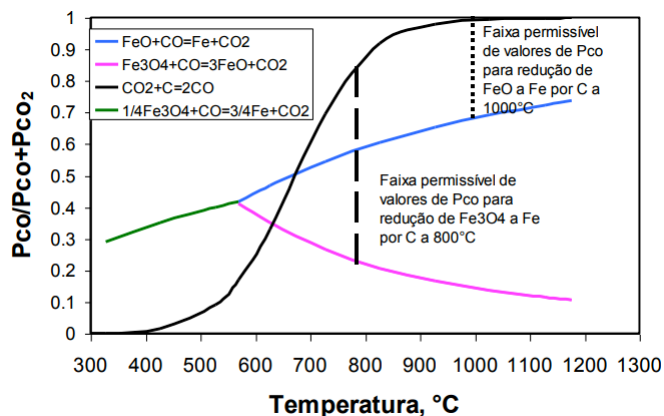


Figura 6 - Composição gasosa em equilíbrio, em função da temperatura, com carbono sólido (*Boudouard*) e com óxidos de ferro e ferro metálico (DA SILVA).

É possível observar na Figura 6 que a redução do ferro ocorre em temperaturas de 800 a 1200°C para diferentes valores de composições de carbono presente na amostra. Porém é observado na Figura 4 e confirmado através do diagrama de *Boudouard* apresentado na Figura 6 a ocorrência da redução do Fe_3O_4 a Fe, assim como ocorre nos altos-fornos convencionais. Tal fato pode ser reforçado através das Tabelas 6 e 7, onde são apresentadas composições decrescentes de carbono nas amostras após a permanência da mistura briquetada durante 550 e 900s com a energia de micro-ondas. Na Tabela 8 é apresentada a perda de massa da amostra briquetada indicando também a perda de carbono durante o aquecimento da amostra em contato com a energia de micro-ondas.

Segundo DA SILVA, vários modelos cinéticos para a redução gás-sólido de minérios de ferro foram desenvolvidos, sendo os principais o modelo topoquímico e o modelo do núcleo não reagido, segundo os quais a redução se dá a partir da superfície das partículas para o centro, sendo que, no modelo topoquímico, as partículas manteriam sua geometria original.

As principais variáveis que são consideradas na redução de minérios de ferro por redutor gasoso são: temperatura, vazão e composição do gás redutor, porosidade do minério ou aglomerado, granulometria e morfologia do minério, área de contato entre metal e óxidos parcialmente reduzidos e difusão iônica e gasosa através dos produtos da redução.

HALDER e FRUEHAN (2008), estudaram a redução de compostos de minério de ferro e carbono, uma vez que já se sabe que essa redução ocorre através de intermediários gasosos e que ocorre através da sequência hematita (Fe_2O_3) \rightarrow magnetita (Fe_3O_4) \rightarrow wustita (FeO) \rightarrow ferro metálico (Fe). A redução de FeO a Fe é mais lenta que a redução de Fe_2O_3 para Fe_3O_4 e do Fe_3O_4 para FeO .

IV. Conclusões.

Com a finalidade de avaliar o perfil de aquecimento utilizando energia de micro-ondas em partículas compostas pela mistura briquetada de minério de ferro, pó de aciaria e biomassa de capim elefante, foram realizados ensaios durante intervalos de tempo de 550 e 900s. Observando os resultados apresentados foi possível a determinação das seguintes conclusões:

- ✓ De acordo com os gráficos apresentados foi possível concluir que o aquecimento da mistura briquetada de pó de aciaria, minério e capim elefante ocorre nos primeiros 45 segundos mantendo-se até o término da emissão da energia de micro-ondas.
- ✓ De acordo com as tabelas apresentadas foi possível concluir que ocorreram reduções crescentes de massa da amostra submetida a energia de micro-ondas em 550 e 900s.
- ✓ De acordo com as temperaturas apresentadas, bem como o diagrama de *Boudouard*, foi possível concluir que ocorreu a redução do Fe e liberação de CO durante a permanência da amostra em contato com a energia de micro-ondas.
- ✓ De acordo com o trabalho apresentado foi possível concluir que a utilização da energia de micro-ondas para o aquecimento da amostra briquetada de pó de aciaria, minério e capim elefante possibilita a geração de diversas vantagens frente ao aquecimento convencional utilizando combustíveis fósseis, tais como: a diminuição da demanda por carvão coqueificável, o qual pode ser substituído pela biomassa de capim elefante; o rápido aquecimento originado pela interação das micro-ondas com os diferentes minerais presentes nas partículas de minério de ferro; a diminuição da geração de poluição atmosférica gerada pela não utilização de combustíveis fósseis; e o rápido funcionamento e desligamento do sistema.

V. Agradecimentos.

Os autores agradecem aos órgãos financiadores: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, Ministério da Ciência e Tecnologia. Agradecem também à empresa Rio Metalúrgica S/A, pela doação de amostras, bem como à equipe do Centro de Tecnologia Mineral, pelo desenvolvimento dos ensaios e análises químicas e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica da Universidade Federal Fluminense (PPGEM/UFF) pelo apoio técnico científico.

VI. Referências.

1. CHENG C.Y.; MISRA V.N., CLOUGH J., MUN R. Dephosphorisation Of Western Australian Iron Ore By Hydrometallurgical Process Div. of Minerals, PO Box 90, Bentley, WA 6982, Australia, p. 1024 – 1025 Maio/Abril de 1999.
2. DA SILVA, F.T.; Cinética da Reação de Boudouard. Apostila siderurgia 1 – UFRJ.
3. GUO S. H., LI W., PENG J. H., NIU H., HUANG M. Y., ZHANG L. B., ZHANG S. M., HUANG M. Microwave-absorbing characteristics of mixtures of different carbonaceous reducing agents and oxidized ilmenite [J]. International Journal of Mineral Processing, 2009, 93(3-4): 289-293.
4. HALDER, S., FRUEHAN, R. J. "Reduction of Iron-Oxide-Carbon Composites: Part I. Estimation of the Rate Constants",

- Metallurgical and Materials Transactions B, v.39B, pp.784-795, 2008.
5. HAQUE, K.E., Microwave energy for mineral treatment processes: um breve resumo, Ottawa, Ontario, Canada, 30p.1998.
 6. JONES D.A., KINGMAN S.W., WHITTLES D.N., LOWNDES I.S., 2005. Understanding microwave assisted breakage. Minerals Engineering 18, 659–669.
 7. KRUG, F.J. Métodos de Decomposição de Amostras. 5ª edição, São Paulo, V Workshop sobre Preparo de Amostras, 2004.
 8. MEDEIROS, E. F., 2010. Siderurgia no Brasil. Brasília: CGEE.
 9. MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concrete: Structure, properties and materials. 2ª ed. New Jersey, USA: Prentice Hall, 1993.
 10. MEVALORES A.C., MEREDITH, R.J. Industrial Microwave Heating. Chapter 10, Peter Peregrinus, London,UK. 1983.
 11. OMRAN, M., FABRITIUS, T., 2016. Effect of Steelmaking Dust Characteristics on Suitable Recycling Process Determining: Ferrochrome Converter (CRC) and Electric Arc Furnace (EAF) Dusts. Powder Technology N° 308 p. 47–60.
 12. PETERSON E. R. Microwave Chemical Processing. Proceedings: workshop de reações induzidas por micro-ondas, Pacific Grove, 1993.
 13. ROY R., AGRAWAL D., PEELAMEDU. Anisothermal Reaction Synthesis of Garnets, Ferrites, and Spinels in Microwave Field?. Materials Research Bulletin, 2001.
 14. S.W. KINGMAN, Recent developments in microwave processing of minerals, Int. Min. Rev. 51 (2006) 1–12.
 15. SCHIFFMANN R.F. Commercializing microwave systems: path to success or failure. Microwaves: theory and application in Material Processing 111. In: Clark, D.E., Folz, D.C., Oda, S.J., Silberglit, R. _Eds., Ceramic Transc. Vol. 59. 1995.
 16. SPENCER P.L. Prepared food articles and method of preparing. US patent 2,480,679. 1949.
 17. STANDISH N., WORNER H., 1991. Microwave application in the reduction of metal oxides with carbon. Iron and Steel Maker 18 _5., 59–61.
 18. WILLS, B. A.; NAPIER-MUNN, T. J. Mineral Processing Technology – An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery. 7ª ed. University of Queensland - Australia: BH, 2006.

Influência da degradação térmica nas propriedades físicas e estruturais do copolímero Etileno-Propileno Fluorado

Érica Fernanda da Silva Tirelli
Programa de Pós Graduação em
Engenharia Metalúrgica
Universidade Federal Fluminense
Volta Redonda, Brasil
ericafst@gmail.com

Neil de Medeiros
Programa de Pós Graduação em
Engenharia Metalúrgica
Universidade Federal Fluminense
Volta Redonda, Brasil
neil@metail.eeimvr.uff.br

Fábio José Bento Brum
Escola de Engenharia Industrial
Metalúrgica
Universidade Federal Fluminense
Volta Redonda, Brasil
fabiobrum@id.uff.br

Resumo— Os fluoropolímeros são polímeros fluorados que vem ganhando destaque nas indústrias pela sua alta resistência química, térmica e mecânica. Entre eles o Politetrafluoretileno PTFE, perfluoroalcóxido PFA e o copolímero etileno-propileno FEP, que integram as resinas da marca Teflon™, se destacam. A facilidade de processabilidade e baixo custo tem contribuído para o aumento das aplicações envolvendo o FEP. Neste trabalho, amostras extrudadas de FEP, foram degradadas termicamente em diferentes temperaturas e foi feito o estudo da influência dessa degradação nas propriedades estruturais e físicas deste material. A degradação das amostras ocorreu em um forno tipo mufla nas temperaturas de 200, 300 e 400°C por 4 horas. Após a degradação, as amostras foram caracterizadas através das técnicas de calorimetria de varredura diferencial, DSC, e análise termogravimétrica, TGA.

Palavras-chave— *Extrusão, degradação térmica, caracterização, cristalinidade, copolímero Etileno-Propileno Fluorado.*

I. INTRODUÇÃO

Nas últimas duas décadas os polímeros vêm ganhando espaço em diversas aplicações industriais. Revestimentos de cabos, tubulações, vedações, antiaderentes, diversas embalagens, roupas antichamas entre outros são exemplos de produtos feitos com material plástico [1].

Os plásticos que tem ganhado destaque principalmente no segmento automotivo, como o Polipropileno PP, Policloreto de vinila PVC, Poliamida PA, Acrilonitrila Butadieno ABS, Polietileno PE, Politetrafluoretileno PTFE, Copolímero de Etileno-Propileno fluorado FEP e Perfluoroalcóxido PFA [2]. Os três últimos, PTFE, FEP e PFA, são polímeros fluorados que possuem alta resistência química, estabilidade térmica, baixa inflamabilidade e baixa constante dielétrica.

O FEP e PFA possuem vantagens em relação ao PTFE, eles podem ser processados por meios convencionais como, Extrusão, Injeção, Termoformagem e Compressão além de possuírem um custo menor. Por isso, têm sido usados em diversas aplicações que exigem alta resistência química e térmica [3].

Entre esses polímeros, o FEP ganha destaque por ter o menor custo e poder resistir a temperaturas de até 260°C [3].

Atualmente a grande demanda industrial para caracterização do FEP está relacionada principalmente com análise de processamento, onde pode-se afirmar se o

material foi bem processado ou não. Isso garante que o material estará adequado para suas aplicações. Hoje no Brasil, apenas a técnica de índice de fluidez (IF) é realizada para seu controle de qualidade após processamento, resultados esses que possuem um intervalo grande de aceitação e não permitem o estudo sobre o comportamento do material durante e após processamento, e sua degradabilidade em diferentes temperaturas.

Uma das características mais relevantes dos polímeros fluorados é sua alta resistência térmica, dessa forma, torna-se importante ampliar o estudo que foi pouco explorado para o FEP, de suas propriedades físicas após ser submetido em diferentes temperaturas, tornando possível entender o comportamento desse material e as variações de suas propriedades. Conseqüentemente, esse trabalho agrega para as indústrias novas técnicas para o controle de qualidade do FEP após processamento baseando-se nas variações de suas propriedades físicas em diferentes temperaturas.

Para este trabalho empregou-se o estudo da degradação térmica do fluoropolímero FEP em diferentes temperaturas e sua posterior caracterização através de análises térmicas e grau de cristalinidade.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

O material de estudo é o Teflon™ FEP CJ95 X recebido pela empresa Chemours em forma de pedaços, provenientes de um processamento por extrusão para cabos. O material possuía índice de fluidez (IF) de 5,2, 7,75% maior que o mesmo material virgem (4,90). Um aumento de até 10% do valor de IF é considerado normal, indicando que o material foi bem processado.

A degradação do polímero foi feita em uma mufla marca CEM, modelo Phoenix. As temperaturas utilizadas para degradação foram 200, 300 e 400°C durante 4h.

A. Caracterização por análise termogravimétrica (TGA)

O comportamento térmico após degradação do polímero foi investigado através de análise termogravimétrica (TGA) realizada em um equipamento de análise térmica modelo Q50 da TA Instrument, localizado no Laboratório de Fluoropolímeros da Chemours, Barra Mansa. A decomposição das amostras foi realizada sob fluxo contínuo de atmosfera de gás inerte N₂, utilizando uma faixa de temperatura de 0 a 800°C e velocidade de aquecimento de 20°C/min.

B. Caracterização por análise calorimétrica de varredura diferencial (DSC)

O comportamento térmico e a variação da cristalinidade das amostras após degradação do polímero, foram investigados através de análise calorimétrica de varredura diferencial (DSC) foi realizada em um equipamento de análise térmica modelo Q20 da TA Instrument, localizado no Laboratório de Fluoropolímeros da Chemours, Barra Mansa. As análises foram realizadas em 3 ciclos caracterizado por fusão, cristalização e refusão (também chamado de segunda fusão), com rampa de temperatura de 30 até 380°C, à taxa de aquecimento de 10°C/min com isoterma de 5 minutos e sob fluxo de 10mL/min em atmosfera inerte de N₂.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A. Caracterização por análise termogravimétrica (TGA)

Essa análise foi realizada com intuito de comparar após degradação das amostras em diferentes temperaturas as curvas termogravimétricas (massa em função da temperatura). As derivadas também foram calculadas para a determinação das temperaturas em que ocorreram as maiores taxas de variação de massa.

As curvas (Fig. 1) mostraram que a decomposição do FEP ocorre com duas variações máximas de massa, mostrando nas curvas dois picos de decomposição. Um primeiro pico em aproximadamente 526°C e outro em aproximadamente 585°C.

Na literatura foi possível encontrar que a decomposição do FEP ocorre em dois estágios a primeira envolve preferencialmente a eliminação do Hexafluorpropileno (HFP) e a segunda ocorre em duas etapas, pirólise da cadeia principal e o produto da degradação é o monômero tetrafluoretileno (TFE). Já na segunda etapa ocorre combustão e os produtos formados são dióxido de carbono (CO₂) e fluoreto de carbono (CF₄) sendo o último estágio semelhante a decomposição do PTFE [7].

Dessa forma, os dois picos observados referem-se possivelmente à despolimerização da cadeia e eliminação do HFP seguida de pirólise da cadeia principal.

Ainda é possível observar um aumento de até 3°C na temperatura de decomposição do primeiro pico nas temperaturas de 300 e 400°C.

Observa-se que a despolimerização do FEP foi praticamente total para todas as temperaturas, sendo que a menor decomposição encontrada foi de 99,52% na amostra degradada à 400°C. O valor de 0,5% restante corresponde ao material carbonáceo formado durante a decomposição.

TABELA 1 – RESULTADOS OBTIDOS NAS ANÁLISES TERMOGRAVIMÉTRICAS PARA AS AMOSTRAS DEGRADADAS À 200, 300 E 400°C DURANTE 4H

Temperatura de degradação (°C)	200		300		400	
	1° pico	2° pico	1° pico	2° pico	1° pico	2° pico
Temperatura dos picos (°C)	526,07	585,74	529,34	585,01	529,02	585,67
Decomposição (%)	99,85		99,80		99,52	

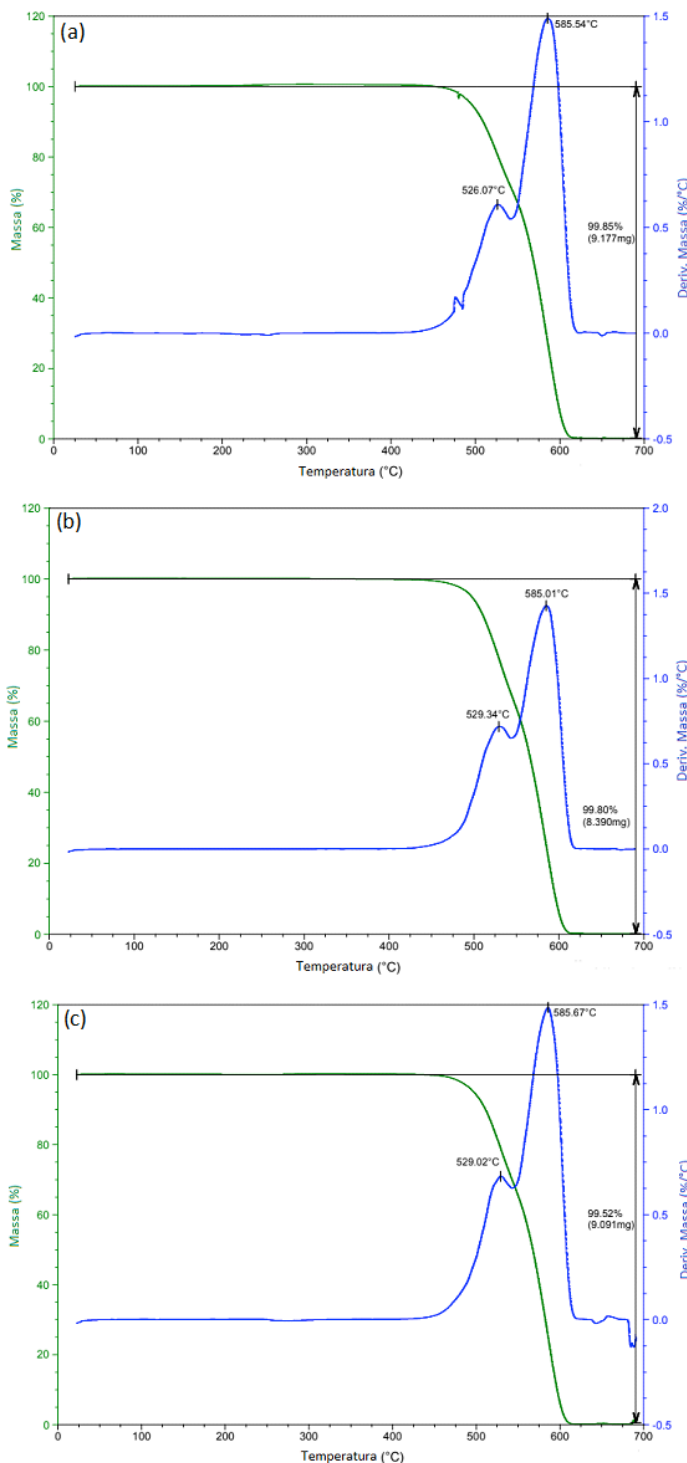


Fig. 1. (a) Curva termogravimétrica da amostra degradada à 200 °C por 4h. (b) Curva termogravimétrica da amostra degradada à 300 °C por 4h. (c) Curva termogravimétrica da amostra degradada à 400 °C por 4h.

B. Caracterização por análise calorimétrica de varredura diferencial (DSC)

A fusão é uma transição característica de polímeros semicristalinos. Ocorrendo em uma faixa de temperatura devido à distribuição das regiões cristalinas da amostra. O ponto de fusão é definido como a temperatura na qual a fase cristalina desaparece totalmente. O valor de entalpia

envolvida nessa transição pode ser calculado integrando área abaixo do pico obtido.

Quando o polímero é processado, considera-se que o primeiro pico de fusão corresponde a história térmica do material, ou seja, refere-se as todas condições de temperatura, resfriamento, compressão entre outras, sofridas pelo material durante o processamento. Por isso, para este trabalho foram feitos 3 ciclos que envolvem as transições fusão, cristalização e refusão (ou segunda fusão) e considerados apenas os picos de cristalização e refusão para análise dos resultados (Fig. 2), já que os parâmetros de interesse são as propriedades físicas do material sofridas após degradação.

É possível observar um aumento da temperatura do pico de refusão de até 4°C e um alargamento no pico. Esse aumento indica que foi necessária uma energia maior para que a fase cristalina do polímero desaparecesse. Sendo possível observar que o grau de cristalinidade teve um aumento de até 15% em relação ao material inicial hipoteticamente 100% cristalino em 200°C durante 4h, o tempo de exposição e temperatura causaram a cisão das cadeias do FEP, aumentando a mobilidade e a facilidade de cristalização quando o material foi resfriado, aumentando o grau de cristalinidade em alguns casos.

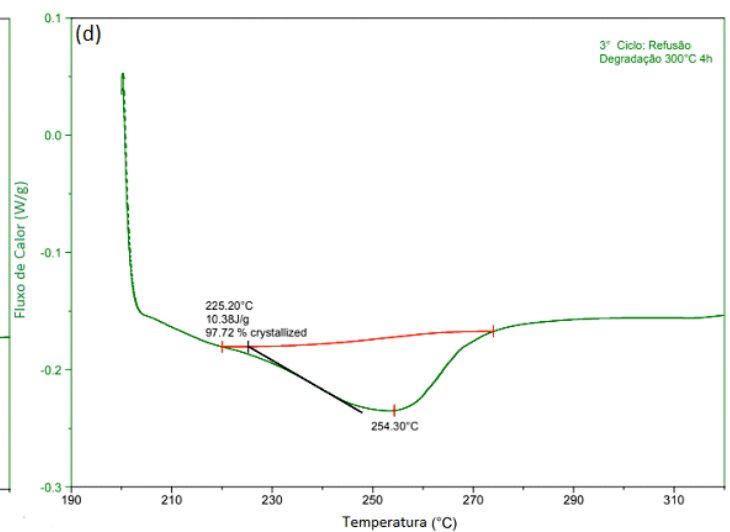
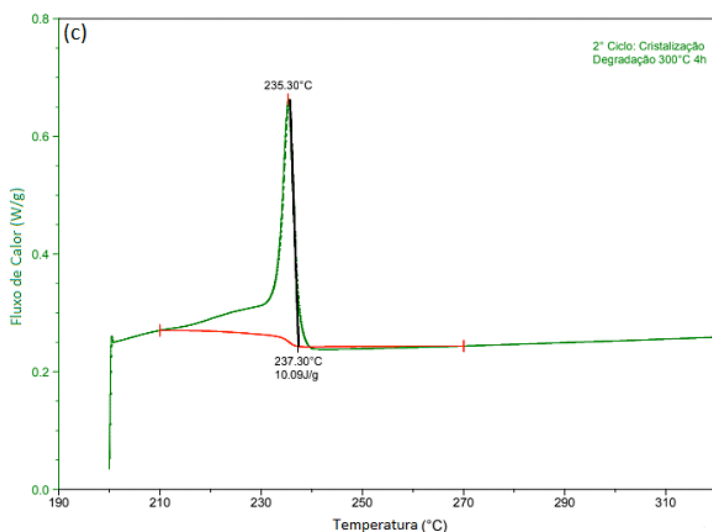
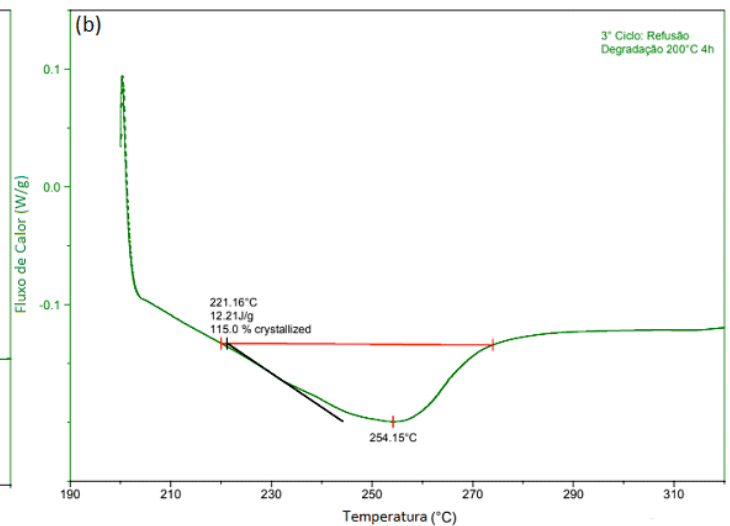
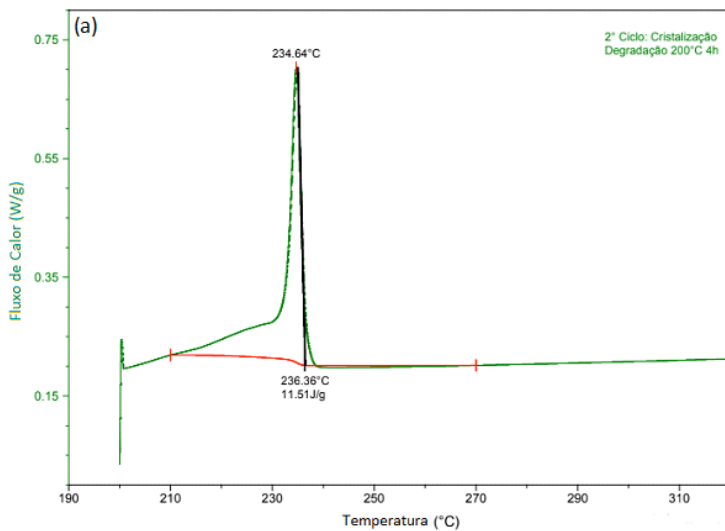
TABELA II – RESULTADOS OBTIDOS PARA ANÁLISE DE DSC PARA AS AMOSTRAS DEGRADADAS NAS TEMPERATURAS DE 200, 300 E 400°C DURANTE 4H

Temperatura de degradação (°C)	200	300	400
Temperatura do pico da 2ª fusão (°C)	254,15	254,30	258,70
Entalpia da 2ª fusão (J/°C)	12,21	10,38	10,75
Temperatura do pico de cristalização (°C)	234,64	235,30	234,83
Entalpia de cristalização (J/°C)	11,51	10,09	10,37
Cristalinidade (%)	115,0	97,72	94,36

TABELA III – RESULTADOS OBTIDOS PARA ANÁLISE DE DSC PARA A AMOSTRA DE PARTIDA

Amostra inicial	
Temperatura do pico da 2ª fusão (°C)	254,56
Entalpia da 2ª fusão (J/°C)	10,62
Temperatura do pico de cristalização (°C)	234,65
Entalpia de cristalização (J/°C)	10,40
Cristalinidade (%)	100%*

* O valor da cristalinidade do material de partida foi considerado hipoteticamente como 100%.



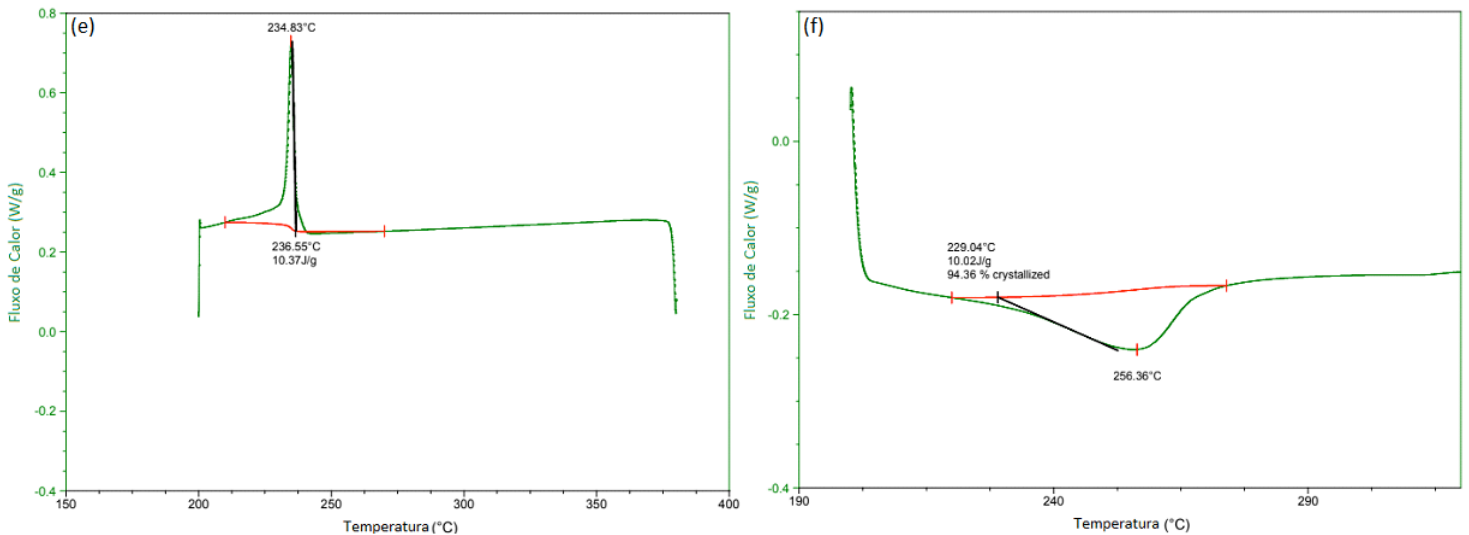


Fig. 2. (a) Curva de cristalização e (b) Curva de refusão do DSC da amostra degradada à 200°C por 4h. (c) Curva de cristalização e (d) Curva de refusão do DSC da amostra degradada à 300°C por 4h. (e) Curva de cristalização e (f) Curva de refusão do DSC da amostra degradada à 400°C por 4h.

IV. CONCLUSÃO

As caracterizações realizadas para o material FEP após degradação permitiram a avaliação das propriedades físicas e estruturais do polímero. Na caracterização por análise termogravimétrica foi observado as temperaturas máximas de variação de massa além da temperatura inicial de degradação do polímero, aproximadamente 466°C, e como ocorre sua decomposição. A quantidade máxima de carbonáceos formados durante a decomposição do FEP é 0,5%, motivo pelo qual a decomposição total não atinge o valor de 100%.

Para as análises de calorimetria diferencial de varredura (DSC), foi observado que o aumento da temperatura de degradação causa um alargamento do pico de refusão e também o aumento da temperatura desse pico. Isso demonstra a variação morfológica e de distribuição molecular ocorrida no polímero em temperaturas mais elevadas.

Vale ressaltar que não é possível estudar distribuição molecular por técnicas convencionais como cromatografia de permeação em gel devido a alta resistência química desse polímero, sendo o mesmo insolúvel na maioria dos solventes.

A anomalia no comportamento estrutural do FEP, aumento da cristalinidade com o aumento de temperatura, em 200°C, em relação ao material de partida; mostra que ocorre a mobilidade das cadeias o que facilita a formação de núcleos que cristalizaram com maior facilidade no decorrer do segundo ciclo, aumentando a quantidade de fase cristalina do polímero que pode ser verificada na refusão. Como a cristalinidade diminui nas outras temperaturas analisadas a 300 e 400°C, uma mudança conformacional do polímero também pode ter ocorrido.

Esses comportamentos também foram encontrados na literatura para o fluoropolímero PTFE onde cristalinidade e entalpia de fusão do material aumentaram com o aumento da temperatura de sinterização [11].

REFERÊNCIAS

- [1] Dupont™ Teflon PTFE. *Fluoropolymer Resins Properties Handbook*. DuPont Fluoroproducts: Wilmington, 1998.
- [2] Ebnasajjad, S. Introduction to Fluoropolymers. In: KUTZ, Myer. *Applied Plastics Engineering Handbook: Processing and Materials*. Elsevier, 2011. 574 p., cap 4, p. 49-60.
- [3] Ebnasajjad, S. *Fluoroplastics: Non-Melt Processible Fluoropolymers – The Definitive User's Guide and Data Book*. 2 ed. Amsterdam: Elsevier, 2015. 1 v. 718 p.
- [4] Dupont Teflon FEP. *Fluoropolymer Resin Product and Properties Handbook*. DuPont Fluoroproducts: Wilmington, 1998.
- [5] Canevarolo Junior, S. V. *Técnicas de Caracterização de Polímeros*. São Paulo: Artliber, 2004. 448 p.
- [6] Brown, M. E. *Introduction to Thermal Analysis: Techniques and Applications*. 2 ed. (), Springer Science & Business Media, 2006. 264 p.
- [7] Drobny, Jiri George. *Technology of Fluoropolymers*. 2 ed. New York: CRC Press, 2008. 278 p., cap 8 p. 171-180.
- [8] Barton, J. M. The Application of Differential Scanning Calorimetry (DSC) to the Study of Epoxy Resin Curing Reactions. *Epoxy Resins and Composites I*, Berlin, mar. 2005. v. 72, p. 111-154.
- [9] Mckinnon, M. *Thermogravimetric Analysis (TGA) & Differential Scanning Calorimetry (DSC)*. Lab Test Methods Day 2014. Disponível em: <http://www.fpe.umd.edu/sites/default/files/documents/LMD-TGA-DSC.pdf>. Acesso em: 12/06/2018
- [10] Ebnasajjad, S.; Khaladkar P. R. *Fluoropolymer Applications in the Chemical Processing Industries: The Definitive User's Guide and Handbook* 2 ed. 2018, Pages 357-400.
- [11] STRABELLI, Patricia Giunchetti. Influência de variáveis de sinterização na microestrutura e propriedades mecânicas de peças de PTFE moldadas por prensagem isostática. São Carlos, 2014. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2014.

Estudo de Propriedades Ópticas de Propileno Reciclado via Elipsometria

Marinele T. Rodrigues
 Programa de Pós-Graduação em
 Engenharia Metalúrgica (PPGEM)
 Universidade Federal Fluminense
 (UFF)
 Volta Redonda, Brasil
 mel.uff@hotmail.com

Ladário da Silva
 Programa de Pós-Graduação em
 Engenharia Metalúrgica (PPGEM)
 Instituto de Ciências Exatas (ICEx)
 Universidade Federal Fluminense
 (UFF)
 Volta Redonda, Brasil
 ladariosilva@id.uff.br

Abstract — The use of recycled materials is growing every day in the world due to the great possibility of applying product at a lower cost as well as the recent concern with sustainability and the environment. The polymers in general, and polypropylene (PP) in particular, can be applied in various branches of the industry. They are used in the automotive sector, in the white line products, in the pharmaceutical and cosmetics industry and also in the biomedical area. This work aims to study the optical properties of pure polypropylene (PP) and the blend of 50% pure polypropylene and 50% recycled (PPREC) by the ellipsometry technique. Using this technique, it was possible to obtain the dispersion curves of the refractive index (n), of the extinction coefficient (k) as a function of the wavelength.

Keywords: Polypropylene; Recycled; Ellipsometry.

I. INTRODUÇÃO

Devido à crescente preocupação com o meio ambiente novas pesquisas têm sido direcionadas ao uso de materiais sustentáveis. Os parâmetros de sustentabilidade mais discutidos estão relacionados ao controle do consumo de energia elétrica e à substituição de materiais tradicionais por materiais alternativos. Desse modo, as empresas passaram a investir na busca de novas técnicas e tecnologias para atividades e a considerar também a variável ambiental em suas estratégias de produção [1].

Pesquisadores de todo o mundo estão interessados em desenvolver materiais reciclados devido ao aumento da poluição ambiental. Plásticos residuais são abundantemente disponíveis como resíduos sólidos, e polímeros feitos a partir de resíduos de petróleo são facilmente reciclados apenas com a adição de energia. As propriedades dos resíduos plásticos reciclados podem ser aproximadamente as mesmas dos materiais virgens [2].

Na reciclagem de plásticos, a mistura de diferentes polímeros é necessária porque a separação de um único componente pode ser difícil ou dispendiosa. Poliolefinas como Polietileno (PE) e Polipropileno (PP) são encontradas principalmente em resíduos plásticos urbanos e industriais e são recicladas após a separação dos polímeros. Misturas de poliolefinas, particularmente HDPE (polietileno de alta densidade) e PP têm atraído muita atenção, porque esses plásticos uma porcentagem significativa de resíduos em áreas urbanas e industriais [3]. Esses resíduos plásticos são reciclados após a separação dos polímeros. As reciclagens heterogêneas de 2ª classes de termoplásticos podem levar a

vantagens óbvias, como a redução da quantidade de energia, reaproveitamento dos materiais no final do ciclo de vida de produto [4] e economia de recursos naturais necessários.

Polímeros são caracterizados de várias formas e por vários parâmetros. Neste trabalho nos concentraremos nas propriedades ópticas e dielétrica de sua superfície. Para isso usamos a técnica de elipsometria [5]. A elipsometria é uma técnica não-destrutiva apropriada para caracterizar propriedade óptica, como a constante dielétrica complexa. Ela também acessa a espessura de filmes finos mono e multicamadas de óxidos, óleos, etc. Basicamente seu funcionamento padrão envolve a incidência e alteração do estado de polarização de luz em um material cujas propriedades queremos conhecer. O objetivo deste trabalho é estudo da caracterização por elipsometria [3] do polipropileno e do polipropileno reciclado para aplicação em peças plásticas em veículos. Pretende-se desenvolver uma metodologia para avaliar as propriedades ópticas e dielétricas do material com um elipsômetro espectroscópico.

II. MATERIAL E MÉTODOS

O polipropileno tem sua origem a partir do propileno após polimerização. É polímero classificado como termoplástico, que pode ser amolecido a partir de ação do calor. Sofre deformação a partir de tensões aplicadas e após resfriamento volta a sua forma sólida. Possui peso molecular entre 40.000 a 20.000 g/mol [6]. O segundo material analisado é o mesmo polipropileno porém considerado refugo do primeiro processo de injeção sendo composto de com 50% de refugo de processo do mesmo material e 50% do PP virgem. O material tem sua estrutura proveniente do propileno que após a polimerização chegamos ao polipropileno, cujo processo de produção é ilustrado na Fig. 1.

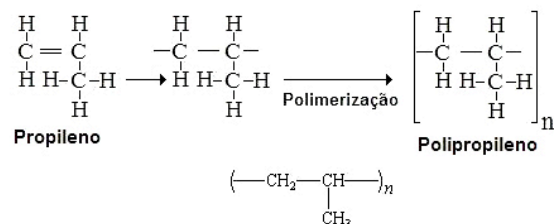


Figura 1: Estrutura dos polímeros utilizados neste estudo: PP (polipropileno).

II.1 Preparo dos polímeros

O primeiro passo para preparo e definição do material foi limpar qualquer tipo de impureza que poderia estar na superfície do corpo de prova, foi necessário usar um soprador com temperatura ambiente para realizar essa limpeza da superfície.

Uma amostra foi o polipropileno com as dimensões aproximadas de 70 x 60 mm. E a outra amostra polipropileno puro mais 50% de polipropileno reciclado com as dimensões aproximadas de 80x60 mm.

As duas amostras foram preparadas no Laboratório Multiusuários de Caracterização de Materiais da Universidade Federal Fluminense, UFF, de Volta Redonda.

II.2 Elipsometria

A elipsometria é uma técnica que acessa as propriedades ópticas e dielétricas de materiais. A técnica de elipsometria usa a mudança do estado de polarização da luz incidente após a reflexão do material estudado para obter seus parâmetros. Sendo assim é obtém se os parâmetros elipsométricos Δ e Ψ . Abaixo temos a equação fundamental da elipsometria relacionando os parâmetros elipsométricos [3]:

$$e^{i\Delta} \tan \Psi = R_p/R_s = f(n_x, d_x, \lambda, \phi)$$

Temos que R_p e R_s que são os coeficientes de reflexão total, sendo as componentes p (perpendicular) e s (paralela), relativas ao plano de incidência, respectivamente. e dependem do ângulo de incidência Φ , do comprimento de onda λ da radiação, do índice de refração, n_k , dk . [3]. Para este material, um polímero sem estrutura superficial, podemos usar o modelo de “bulk” [5]. O elipsômetro usado é da marca SEMILAB®, modelo SOPRA GES 5E, de polarizador rotativo com micro spots, lâmpada Xe, com faixa de espectro de 200-1000 nm, mostrado na Figura 2. As medidas foram realizadas em um ângulo de incidência de 75°.



Figura 2. Elipsômetro espectrométrico modelo SOPRA GES 5E da SEMILAB.

Com o uso do modelo de bulk, pode-se obter os parâmetros desejados, ou seja, o índice de refração (n) e o coeficiente de extinção (k).

III. RESULTADOS PRELIMINARES

Após o preparo inicial das amostras, elas foram posicionadas na mesa do elipsômetro, pra medidas. Foi usado o ângulo de 75° com uso de microspots. Foram medidos 5 pontos ao longo da amostra em questão. O mesmo processo foi realizado para o material de polipropileno com 50% reciclado. Foram medidos os parâmetros elipsométricos $\tan(\Psi)$ e $\cos(\Delta)$. Usando o modelo de bulk [5], o índice de refração (n) e o coeficiente de extinção (k) em função do comprimento de onda.

III.1 Propileno Puro

Para o Propileno Puro (PP), o parâmetro elipsométrico $\tan(\Psi)$ está exposto na Figura 3. Nota-se que as medidas para os quatro pontos (P1, P2, P3 e P4) coincidem, o que sugere uma boa uniformidade da superfície da amostra. Resultados preliminares de $\tan(\Psi)$ e $\cos(\Delta)$ para a amostra de polipropileno:

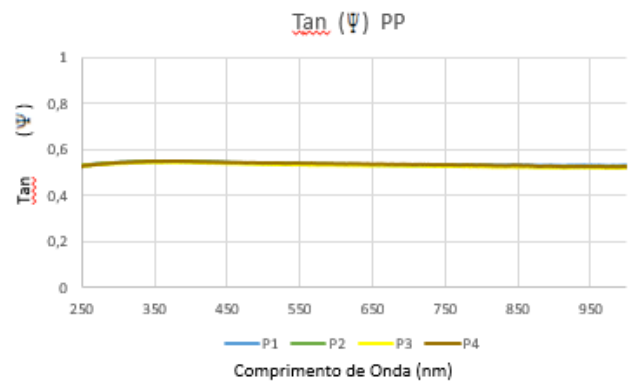


Figura 3. Gráfico da $\tan(\Psi)$ em função do comprimento de onda para quatro pontos (P1, P2, P3 e P4) na superfície da amostra de PP.

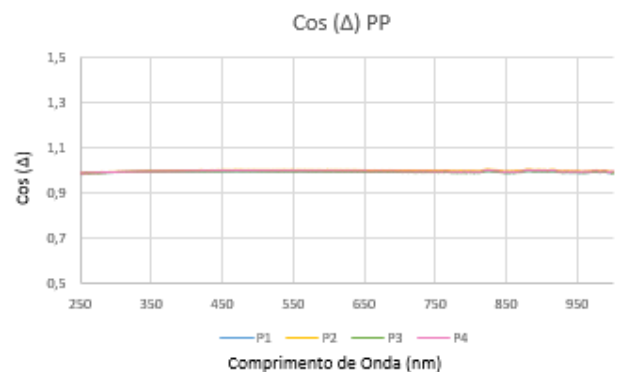


Figura 4. Gráfico do $\cos(\Delta)$ em função do comprimento de onda para quatro pontos (P1, P2, P3 e P4) na superfície da amostra de PP.

As Figuras 5 e 6 exibem os índices de refração (n) e o coeficiente de extinção (k), respectivamente, para o propileno puro. O valor medido do índice de refração é em torno de 1,5. O coeficiente de extinção fica abaixo de 0,2. Percebe-se que o coeficiente de extinção varia pouco em função do ponto medido.

Figura 7. Gráfico de $\tan(\Psi)$ em função do comprimento de onda para quatro pontos (P1, P2, P3 e P4) na superfície da amostra de PPREC.

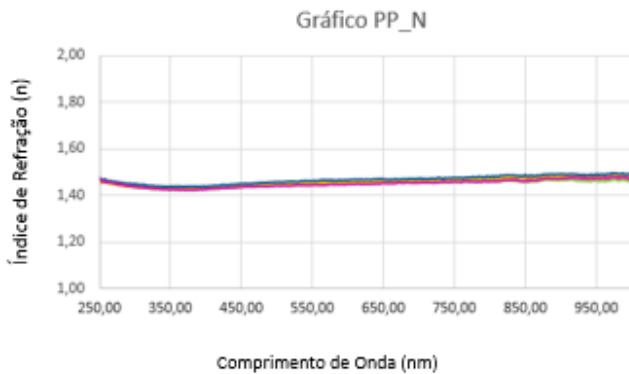


Figura 5. Gráfico do índice de refração para amostra de PP. As medidas para os quatro pontos (P1, P2, P3 e P4) coincidem.



Figura 6. Gráfico do coeficiente de extinção para amostra de PP. P1, P2, P3 e P4 são pontos onde as medidas foram feitas.

III.2 Propileno Reciclado

Para o Propileno reciclado (PPREC), o parâmetro elipsométrico $\tan(\Psi)$ está na Figura 7. Nota-se que as medidas para os quatro pontos (P1, P2, P3 e P4) também coincidem, tendo um comportamento muito parecido com o propileno puro o que também sugere uma boa uniformidade da superfície da amostra. Resultados preliminares de $\tan(\Psi)$ e $\cos(\Delta)$ para a amostra de polipropileno+50% reciclado:

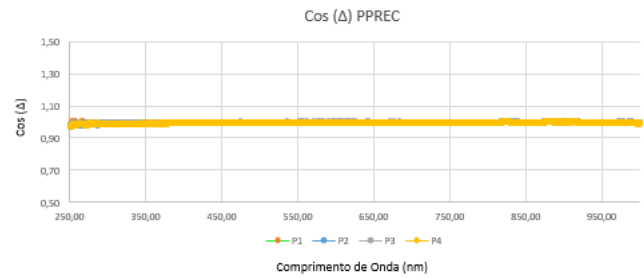
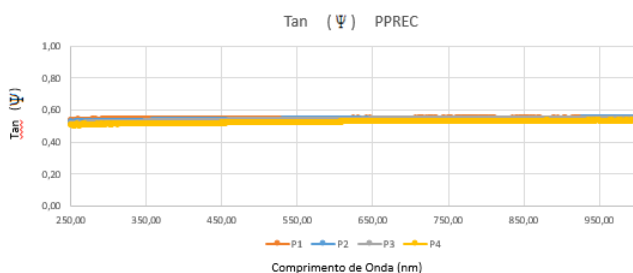


Figura 8. Gráfico do $\cos(\Delta)$ em função do comprimento de onda para quatro pontos (P1, P2, P3 e P4) na superfície da amostra de PPREC.

Os gráficos 9 e 10 exibem os índices de refração (n) e o coeficiente de extinção (k), respectivamente, para o polipropileno+50% reciclado. O valor do índice de refração é em torno de 1,5. O coeficiente de extinção fica abaixo de 0,2. Percebe-se que o coeficiente de extinção varia pouco em função do ponto medido.

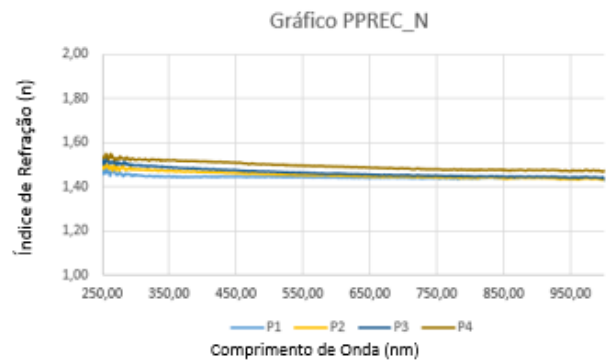


Figura 9. Gráfico do índice de refração para amostra de PPREC. As medidas para os quatro pontos (P1, P2, P3 e P4) coincidem.



Figura 10. Gráfico do coeficiente de extinção para amostra de PPREC. P1, P2, P3 e P4 são pontos onde as medidas foram feitas.

Grande do Sul, Dissertação de Mestrado.2015, disponível em <https://www.lume.ufrgs.br>.

Conforme demonstrado nos gráficos acima, os estudos preliminares dos índices de refração (n) e coeficiente de extinção (k) para as amostras de PP e PPRec chegamos ao valor de n em torno de 1,5. Comparado ao que encontramos em outros estudos e literatura para alguns polímeros o índice de refração gira em torno de 1,7 demonstrando elevadas dispersões óticas. [8]

IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho se deteve na caracterização de propriedades óticas de polipropileno puro e reciclado através de elipsometria. Fomos capazes de obter o índice de refração (n) e coeficiente de extinção (k) em função do comprimento de onda. Pretendemos repetir as medidas e ainda analisar a superfície como o FEG.

AGRADECIMENTO

A autora agradece à Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação (PROPI) da Universidade Federal Fluminense (UFF), à FINEP pela compra do Elipsômetro Espectrométrico SEMILAB GES 5S, aos amigos Joao Carlos Martins e Andre Odaira pelo apoio técnico, às colegas do PPGEM Joyce de Paula Cipriano e à Ramona Rodrigues Santos pelas discussões, e finalmente meu marido e família pelo apoio.

REFERÊNCIAS

- [1] D.R. Mulinari, e J.G. Rocha, “Caracterização mecânica dos compósitos de PEBD reforçados com fibras da palmeira”, *Cadernos UniFOA*, vol.1.1, p. 45-53, 2014.
- [2] P.N. Khanam e M.A. AlMaadeed, “Improvement of ternary recycled polymer blend reinforced with Date Palm fibre”, *Materials & Design*, vol.60, p. 532-539, 2014.
- [3] J Amim Jr, DFS Petri, FCB Maia, PB Miranda, “Ultrathin cellulose ester films: preparation, characterization and protein immobilization”, *Química Nova*, vol. 33, n. 10, p. 2064-2069, 2010
- [4] D.R Mulinari, H.J.C Voorwald, M.O.H Cioffi, G. J Rocha e M.LC. Pinto, “Surface modification of sugarcane bagasse cellulose and its effect on mechanical and water absorption properties of sugarcane bagasse cellulose/ HDPE composites.”, *BioResources*, vol.5(2), p.661-671, 2010.
- [5] H. Fujiwara, “Spectroscopic Ellipsometry: Principles and Applications”, 1a. ed. Tóquio, Japão: John Willey & Sons, Ltd, vol. único, 2003.
- [6] M.T.D. Garcia, J.C.M. Couto, J.A.O. Huguenin e L. da Silva, “Caracterização de óleo em folhas-de-flandes por elipsometria, Editora Blucher, p.1584–1591, 2017.
- [7] T.B. Wermuth, “Microestrutural e de propriedades Óticas e elétricas”, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de Mestrado.2017, disponível em <https://sicbolsas.anp.gov.br>.
- [8] S. Kühn, “Obtenção e caracterização de nanocompósitos de polipropileno com nanofibras/nanotubos de dióxido de titânio funcionalizados”, Universidade Federal do Rio

Estudo do crescimento de camadas de polieletrólitos via elipsometria

Joyce de Paula Cipriano

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica (PPGEM) Universidade Federal Fluminense (UFF)

Volta Redonda, Brasil
joycecipriano@id.uff.br

Leticia Vitorazi

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica (PPGEM)

Departamento de Engenharia Metalúrgica e Materiais

Escola de Engenharia Metalúrgica de Volta Redonda (EEIMVR) Universidade Federal Fluminense (UFF)

Volta Redonda, Brasil

leticiavitorazi@id.uff.br

Tamiris de Almeida

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica (PPGEM) Universidade Federal Fluminense (UFF)

Volta Redonda, Brasil
tamiris_almeida@id.uff.br

Ladário da Silva

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica (PPGEM)

Departamento de Física

Instituto de Ciências Exatas (ICEx) Universidade Federal Fluminense (UFF)

Volta Redonda, Brasil

ladariosilva@id.uff.br

Edwin Elard Garcia-Rojas

Departamento de Engenharia de Agronegócios Escola de Engenharia Metalúrgica de Volta Redonda (EEIMVR) Universidade Federal Fluminense (UFF)

Volta Redonda, Brasil

edwinr@id.uff.br

Resumo— Estudos de polieletrólitos (PEs) e seus complexos vêm avançando nas últimas décadas devido ao seu crescente emprego particularmente na área tecnológica. Uma vez que podem ser biodegradáveis e/ou biocompatíveis são também utilizados nos campos farmacêutico, cosmético, biomédico e indústrias alimentícias. Neste estudo, multicamadas formadas pelos polieletrólitos poli (cloreto de dialildimetilamônio) e poli (ácido acrílico), depositadas de forma alternada polication/poliânion foram preparadas através da técnica *layer by layer* (LbL). As deposições foram realizadas em substrato de silício e foi observada a formação de filmes nanométricos através da modelagem de dados elipsométricos. A espessura das camadas formadas assim como as curvas de dispersão do índice de refração (n) e o coeficiente de extinção (k) de cada camada em função do comprimento de onda foram caracterizados conforme as camadas foram crescidas.

Palavras-chave— Polieletrólitos, *Layer by layer*, elipsometria.

I. INTRODUÇÃO

O estudo de polieletrólitos (PEs) e seus complexos vem se tornando nas últimas décadas um tema promissor pela possibilidade de aplicação desses materiais em tecnologias avançadas [1]. Através da mistura de polieletrólitos pode-se preparar materiais nanoestruturados com custo relativamente baixo, e, uma vez que PEs e seus complexos podem ser biodegradáveis e/ou biocompatíveis, existe ainda a possibilidade de empregá-los nos campos farmacêuticos, de cosméticos, biomédicos e em indústrias alimentícias [1], [2]. Como exemplos específicos, tais materiais vêm sendo usados em sistemas de biotecnologia para encapsulamento e liberação controlada de fármacos e corantes, no desenvolvimento de biossensores, na fabricação de dispositivos para imobilização e separação de proteínas/enzimas e no preparo de membranas para diálise. Na medicina, são usados como inibidores do crescimento de bactérias e no desenvolvimento de vacinas [1], [3], sendo que, essa gama de aplicações está conectada com a

capacidade de adsorção dos mesmos em várias superfícies [4].

Um polieletrólito (PE) é considerado um polímero, que quando em solução, por exemplo, em água, é capaz de se dissociar ou se ionizar gerando uma macromolécula carregada positiva ou negativamente [1], [5]–[8]. Já a associação entre os polieletrólitos de carga oposta em solução resulta em complexos conhecidos como complexos de polieletrólitos (PECs) [1] e a deposição alternada de um poliânion e polication ou vice versa em uma superfície gera a subclasse de materiais conhecida como multicamadas de polieletrólitos (PEMs), através da qual filmes nanométricos podem ser obtidos [3], [9], [10].

A técnica de montagem de filmes, também conhecida como camada por camada do termo inglês “*layer by layer*” (LbL) pode ser aplicada no crescimento de filmes em diferentes tipos de substratos [11] e através dela, de acordo com o número de deposição, pode-se aumentar linearmente ou exponencialmente a espessura de um filme e isso pode estar associado as características dos polieletrólitos depositados e das suas soluções [9].

Quando é necessário obter uma superfície positivamente carregada para garantir a adesão de nano e micropartículas negativas carregadas, o emprego de polieletrólitos carregados positivamente (catiônicos) pode ser interessante. Nesse contexto, um representante típico é o poli (cloreto de dialildimetilamônio) (PDADMAC) que é um polieletrólito catiônico forte uma vez que o grau de dissociação independe do valor de pH do meio. O PDADMAC interage com superfícies de carga oposta, e por esse motivo, é comumente usado como uma “camada âncora” para a preparação de filmes em substratos sólidos, tais como os substratos de silício, quartzo e ouro[4].

Por outro lado, o poli (ácido acrílico) (PAA) é um polímero sintético, aniônico, solúvel em água (dependendo do pH e massa molar) que pode interagir com o PDADMAC levando a formação de complexos ou camadas quando depositados sobre superfícies. É um polieletrólito

denominado fraco, uma vez que seu grau de dissociação está diretamente relacionado com a ionização dos grupos carboxílicos que por sua vez depende dos valores de pH e força iônica do meio, sendo que, esse grau de dissociação e a força iônica do meio influenciam drasticamente os parâmetros termodinâmicos do processo de associação e o crescimento de multicamadas pela complexação de PAA com PDADMAC, por exemplo [12]. Adicionalmente, pode-se citar que o PAA possui propriedades, tais como, biocompatibilidade o que influencia sua utilização como biomateriais em lentes de contato, dentaduras artificiais, e, além disso, podem ser usados como agentes espessantes em tintas, adesivos, produtos farmacêuticos, cosméticos e na agricultura [13], [14].

Características dos filmes nanoestruturados como espessura, rugosidade, porosidade e topografia da superfície podem ser determinadas durante o processo de produção dos mesmos [2], [11]. O processo de formação das multicamadas ainda pode ser afetado pelos parâmetros como: viscosidade, solubilidade e coeficiente de difusão das espécies de carga oposta, além de pH e força iônica da solução. Adicionalmente, a adsorção dos polieletrólitos depende, por exemplo, das interações eletrostáticas de longo alcance e isso depende da energia de adsorção, da natureza do substrato e de sua carga, bem como da carga do polieletrólito [1], [3], [8].

Nesse sentido, a caracterização da espessura das PEMs é interessante para o entendimento do processo de crescimento das camadas nanométricas, sendo que essa informação pode ser obtida através da técnica elipsometria [15]–[17] cujo princípio básico é a análise da mudança do estado de polarização da luz quando esta interage com o material. A mudança de polarização é quantificada pelos parâmetros elipsométricos que são a razão de amplitudes ($\tan \psi$) e a diferença de fases (Δ). Esses parâmetros são relacionados através da equação fundamental descrita na Equação 1.

$$\frac{R_p}{R_s} = \tan(\Psi) e^{i\Delta} = f(n_j, k_j, d_j) \quad (1)$$

Na Equação 1, R_p e R_s são as razões entre os feixes emergentes e incidentes no material em estudo, nas componentes p (paralela) e s (perpendicular), chamados de coeficientes de reflexão complexos de Fresnel e os parâmetros n_j , k_j e d_j são o índice de refração, o coeficiente de extinção e a espessura do filme formado na j -ésima camada, respectivamente. De um modo geral, a partir da modelagem das medidas dos parâmetros elipsométricos (ψ , Δ) é possível inferir as propriedades ópticas tais como índice de refração (n) e o coeficiente de extinção (k), assim como a espessura do filme formado (d) [18], [19].

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo entender o crescimento das multicamadas formadas pela associação entre os polieletrólitos de carga oposta PDADMAC e PAA por meio de medidas elipsométricas.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

A. Materiais

Como polieletrólitos foram empregados o poli(ácido acrílico) (PAA, aniônico, $M_w = 100.000 \text{ g.mol}^{-1}$, 35% em

H_2O e massa molar do mero $72,05 \text{ g.mol}^{-1}$) e o poli(cloreto de dialildimetilamônio) (PDADMAC, catiônico, $M_w < 100.000 \text{ g mol}^{-1}$, 35% em H_2O e massa molar do mero $161,67 \text{ g.mol}^{-1}$). As estruturas químicas desses polímeros estão apresentadas na Fig. 1 e os mesmos foram adquiridos da Sigma-Aldrich® e utilizados sem prévia purificação. Todas as soluções aquosas foram preparadas em água ultrapura (Milli-Q®, master P&D, Geheka, $0,05 \mu\text{S.cm}^{-1}$ de condutividade). Soluções de HCl ou NaOH (Vetec®) foram empregadas nas concentrações 0,1-1M. Ácido sulfúrico (H_2SO_4 , P.A.), hidróxido de amônio (NH_4OH , P.A.) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2 , 130vol.) foram empregados na limpeza dos substratos de silício dopados com boro (Gritek Polished, $1 \times 1 \text{ cm}$, de orientação $\langle 100 \rangle$) que foram fornecidos gentilmente por uma empresa da região sul fluminense.

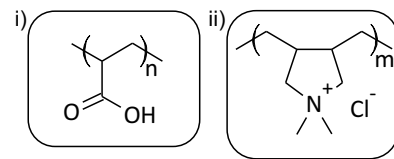


Fig.1. Estrutura química dos polímeros i) poli(ácido acrílico) e ii) policloreto de dialildimetilamônio, onde n e m são o número de meros do polímero.

B. Preparação dos Filmes

Procedimento de limpeza: os substratos de silício foram cuidadosamente mergulhados em uma solução de ácido sulfúrico e peróxido de hidrogênio (7:3) durante 5 minutos, em seguida foram lavados com 100 mL de H_2O . Posteriormente, o substrato foi imerso em uma solução de hidróxido de amônio e peróxido de hidrogênio (7:3) por mais 5 minutos, seguido de enxague com 100 mL de H_2O e secagem em papel baseando-se em protocolos previamente descritos por Arys *et al* [20] e Sui *et al* [21].

Solução polimérica: soluções aquosas de PAA e PDADMAC foram preparadas na concentração 20 mM e tiveram seus valores de pH corrigidos para pH 10. Uma vez que o PAA é um ácido fraco, a elevação do pH da solução garantiu a completa desprotonação de grupamentos ácidos [12].

Crescimento do filme layer by layer: os filmes em multicamadas foram preparados pela deposição dos polieletrólitos positivo e negativo, respectivamente através do método de imersão (*dip-coating*) como apresentado na Fig. 2. Iniciou-se com a imersão do substrato na solução de PDADMAC por 10 minutos, seguida pela lavagem em água (pH 10) por 30 segundos para remoção de cadeias poliméricas não adsorvidas e secagem sob fluxo de nitrogênio (N_2). Posteriormente, os substratos foram imersos em soluções de PAA por 10 minutos, imersos em água (pH 10) por 30 segundos e secagem sob fluxo de N_2 . Este processo foi realizado consecutivamente até a obtenção de cinco camadas de polímeros, sendo a primeira e a quinta camadas compostas por PDADMAC.

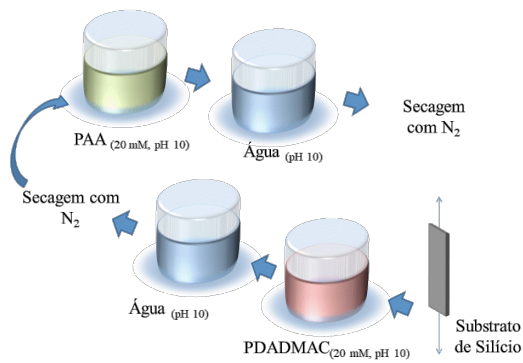


Fig. 2. Processo de deposição de camadas alternadas PDADMAC/PAA.

C. Elipsometria

Nesse estudo foi empregado o elipsômetro da marca SEMILAB® apresentado na Fig.3, modelo SOPRA GES 5E, de polarizador rotativo com microspots, lâmpada de Xe, com faixa de espectro de 200-1000 nm.

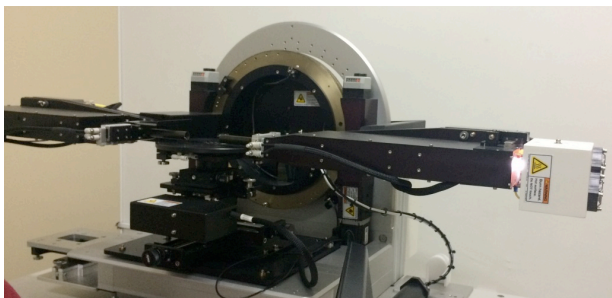


Fig. 3. Elipsômetro Espectrométrico modelo GES 5S da SEMILAB.

As medidas elipsométricas dos substratos de silício com camadas depositadas de polieletrólitos foram realizadas a temperatura 23°C e em ângulo de incidência de 70°. Os dados obtidos foram modelados empregando o software SEA® (Spectroscopy Elipsometry Analyzer). As leis de dispersão Cauchy, Lorentz, Gauss e Tauc-Lorentz foram utilizadas uma vez que não foram encontradas informações referentes ao n e k do material para os diversos comprimentos de onda avaliados. Os dados simulados a partir de curvas de dispersão foram comparados com os dados experimentais baseando-se no indicador estatístico, R^2 , para garantir o coerente ajuste de dados em função do λ [22], [23].

III. RESULTADOS

Para que ocorresse a formação de multicamadas de polieletrólitos na superfície do substrato foi realizada a imersão do substrato de silício nas soluções de PDADMAC e PAA. As soluções dos polieletrólitos foram mantidas em repouso, sem aplicação de cisalhamento, para que os transportes dos polieletrólitos fossem puramente baseados em difusão durante a formação das multicamadas [24]. Também foi considerado que as interações eletrostáticas entre os polieletrólitos levaram a formação das camadas, uma vez que ambas as soluções estavam em pH 10 e isso garante a completa ionização do PAA.

Em relação as medidas elipsométricas, conforme previamente apresentado na Equação (1) é possível obter o valor de n e d de forma independente [18]. Segundo

Fujiwara [18] e Selin [25], quando as espessuras das camadas são muito finas, aproximadamente ≤ 1 nm, ou quando o contraste óptico não é suficiente, d e n não conseguem ser obtidos de forma independente, então é necessário usar o índice de refração fixo. Os valores de índice de refração podem ser encontrados a partir de dados da literatura ou mesmo do fabricante dos materiais, e assim serem empregados na determinação da espessura do filme. Nesses estudos, o índice de refração foi mantido fixo e empregou-se como parâmetro $\lambda = 632,8$ nm e o ângulo de incidência de 70°.

Os parâmetros elipsométricos (ψ , Δ) obtidos para os filmes nos substratos de silício foram modelados a fim de se obter as propriedades ópticas, elétricas e a espessura das camadas crescidas. A Tabela 1 mostra a espessura da camada (d), o parâmetro R^2 da modelagem e o índice de refração (n). Os valores de espessura sugerem que a mesma aumentou com o número de deposições, iniciando em 0,2 nm para a primeira camada e assumindo o valor de 1,9 nm após a deposição da quinta camada.

TABELA I. PARÂMETROS DO FILME FORMADO EM FUNÇÃO DAS CAMADAS DE POLIELETRÓLITOS OBTIDOS ATRAVÉS DE AJUSTES DE DADOS ELIPSOMÉTRICOS

Número de camadas	Espessura (nm)	R^2	n	n médio
1 camada	0,2	0,978	1,56	
2 camadas	0,3	0,986	1,53	
3 camadas	1,4	0,998	1,68	1,552 \pm 0,0772
4 camadas	1,6	0,991	1,51	
5 camadas	1,9	0,949	1,48	

Os ajustes foram obtidos com R^2 maior do que 0,9 e o índice de refração médio empregado foi 1,552. Popa I *et al.* [16] avaliaram a espessura da camada de PDADMAC adsorvida em substrato de silício por elipsometria e considerou o índice de refração de 1,56. Já Katritzky A. R. *et al.* [26] analisaram os índices de refração de polímeros amorfos, onde o índice de refração do polímero PAA encontrado foi de 1,527 e esse valor é similar aos encontrados nesse estudo para a segunda camada.

Popa e colaboradores [16] realizaram estudos com PDADMAC em substrato de silício em solução salina de KCl, pH 5,8 e as camadas foram crescidas em condições de repouso. Os valores de espessura encontrados foram 0,19nm, 0,23nm e 0,32nm para as forças iônicas 0,2, 1 e 10 mM, sendo que, esses valores estão na mesma ordem dos obtidos para a espessura da primeira camada de PDADMAC apresentada na Tabela 1, que foi de 0,2 nm.

Elzbiaciak M. *et al* [27] estudaram o efeito do pH no crescimento das camadas para diferentes polieletrólitos em solução a 0,15 M de NaCl. A carga superficial do substrato do silício empregado foi considerada negativa onde foi observado que os filmes mais espessos foram formados nas condições onde houve menos carga superficial, isto é, em meio básico para o sistema PAH/PSS e meio ácido para PDADMAC/PAA. As justificativas levantadas foram que as cadeias poliméricas quando carregadas assumem conformações alongadas semelhantes a bastonetes devido à repulsão entre segmentos e então ocorre uma adsorção plana

de macromoléculas que resulta na formação de multicamadas mais finas.

Alonso T. *et al.* [13] também estudaram o crescimento de filmes de PDADMAC/PAA, em solução a 0,5 M de NaCl. Também foram observadas as mesmas características descritas por Elzbiaciak M, *et al.* O PAA tem um valor de pKa de 4,5, assim, quando a deposição é feita em pH básico a carga do PAA é aumentada e em contrapartida, em pH ácido, em torno de 3, a carga é diminuída. Foi observado que as multicamadas de polieletrólitos crescidos em pH 3 apresentaram um crescimento linear, com espessura de 200 nm após a deposição da 17ª camada. Entretanto, na faixa de pH 10-13 onde o PAA está totalmente carregado, o sistema apresentou uma espessura inferior, na faixa de 20-40 nm. Desta forma, foi concluído que quanto mais carregado estiver o PAA, mais água é adsorvida e menos favorecida é a interação com o PDADMAC.

O índice de refração (n) juntamente com o coeficiente de extinção (k) para a primeira e a quinta camada depositadas no substrato de silício podem ser observadas na Figura 4 A e B, respectivamente. O coeficiente de extinção é capaz de fornecer informações características do material e foi considerado como zero, $k = 0$, para a primeira deposição (Fig. 4 A) uma vez que se trata de um filme transparente que não absorve luz de acordo com Selin V, *et al.* [25]. Entretanto, foi possível observar que quando foram crescidas cinco camadas de polieletrólitos o valor de k aumentou de acordo como pode ser observado na Figura 4 (B), ou seja, o efeito da interferência se torna mais fraco em filmes mais espessos devido ao aumento da absorção de luz, e quando filmes finos absorvem a luz, $k > 0$. Quando a espessura de um filme absorvente é $d > 5 d_p$ (d_p representa a profundidade onde a intensidade I cai a I/e) os valores são determinados pela reflexão da luz apenas na interface ar/filme, uma vez que a luz que se propaga dentro do filme é absorvida quase completamente [18].

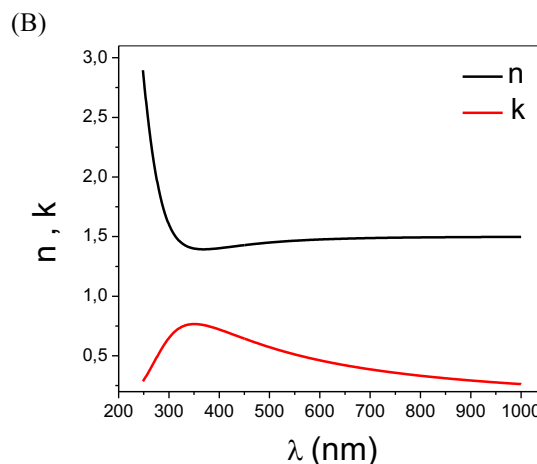
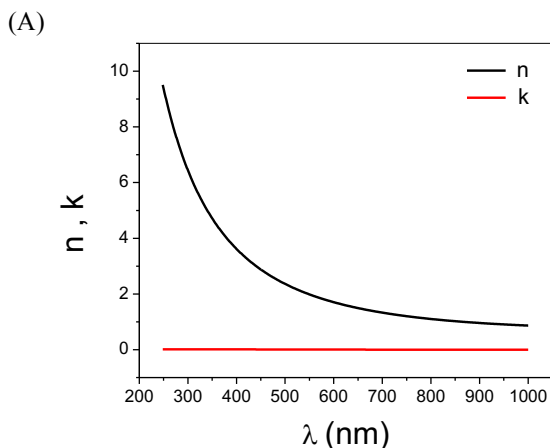


Fig 4. Índice de refração (n) e coeficiente de extinção (k): (A) 1 camada depositada e (B) 5 camadas depositadas.

IV. CONCLUSÕES

Através desses estudos é notório que a técnica de elipsometria pode ser empregada na caracterização do crescimento de filmes nanométricos, tanto na elucidação de espessura quanto na determinação de propriedades ópticas.

V. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação (PROPI) da Universidade Federal Fluminense (UFF) – Projeto 23069.004676/2014-97 pelo apoio financeiro, à FINEP pela compra do Elipsômetro Espectrométrico SEMILAB GES 5S, e à CAPES pelas bolsas de Mestrado de Cipriano, J. P. e Tamiris, A.

REFERÊNCIAS

- [1] V. S. Meka, M. K. G. Sing, M. R. Pichika, S. R. Nali, V. R. M. Kolapalli, e P. Kesharwani, “A comprehensive review on polyelectrolyte complexes”, *Drug Discov. Today*, vol. 22, nº 11, p. 1697–1706, nov. 2017.
- [2] E. S. de Medeiros, R. A. Martinez, R. Bernardes Filho, R. Gregório Filho, e L. H. C. Mattoso, “Desenvolvimento de filmes poliméricos ultrafinos e reticulados para aplicações em sensores”, *Polímeros*, vol. 25, nº spe, p. 40–47, dez. 2015.
- [3] A. Michna, “Macroion adsorption—electrokinetic and optical methods”, *Adv. Colloid Interface Sci.*, vol. 250, p. 95–131, dez. 2017.
- [4] Z. Adamczyk, K. Jamrózy, P. Batys, e A. Michna, “Influence of ionic strength on poly(diallyldimethylammonium chloride) macromolecule conformations in electrolyte solutions”, *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 435, p. 182–190, dez. 2014.
- [5] S. Lankalapalli e V. R. M. Kolapalli, “Polyelectrolyte complexes: A review of their applicability in drug delivery technology”, *Indian J. Pharm. Sci.*, vol. 71, nº 5, p. 481, 2009.
- [6] D. Hoagland, “Polyelectrolytes”, *Encycl. Polym. Sci. Technol.*, 2003.

- [7] A. Dobrynin e M. Rubinstein, "Theory of polyelectrolytes in solutions and at surfaces", *Prog. Polym. Sci.*, vol. 30, nº 11, p. 1049–1118, nov. 2005.
- [8] S. Dakhara e C. Anajwala, "Polyelectrolyte complex: A pharmaceutical review", *Syst. Rev. Pharm.*, vol. 1, nº 2, p. 121, 2010.
- [9] P. Lavalle *et al.*, "Comparison of the Structure of Polyelectrolyte Multilayer Films Exhibiting a Linear and an Exponential Growth Regime: An in Situ Atomic Force Microscopy Study", *Macromolecules*, vol. 35, nº 11, p. 4458–4465, maio 2002.
- [10] N. G. Hoogeveen, M. A. Cohen Stuart, G. J. Fleer, e M. R. Böhmer, "Formation and stability of multilayers of polyelectrolytes", *Langmuir*, vol. 12, nº 15, p. 3675–3681, 1996.
- [11] B. P. Das e M. Tsianou, "From polyelectrolyte complexes to polyelectrolyte multilayers: Electrostatic assembly, nanostructure, dynamics, and functional properties", *Adv. Colloid Interface Sci.*, vol. 244, p. 71–89, jun. 2017.
- [12] L. Vitorazi *et al.*, "Evidence of a two-step process and pathway dependency in the thermodynamics of poly(diallyldimethylammonium chloride)/poly(sodium acrylate) complexation", *Soft Matter*, vol. 10, nº 47, p. 9496–9505, 2014.
- [13] T. Alonso, J. Irigoyen, J. J. Iturri, I. L. Iarena, e S. E. Moya, "Study of the multilayer assembly and complex formation of poly(diallyldimethylammonium chloride) (PDADMAC) and poly(acrylic acid) (PAA) as a function of pH", *Soft Matter*, vol. 9, nº 6, p. 1920–1928, 2013.
- [14] M. do S. P. R. Lima, "Preparo e caracterização de membranas de quitosana modificadas com poli(ácido acrílico)", Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.
- [15] M. Elzbiaciak, M. Kolasińska, S. Zapotoczny, R. Krastev, M. Nowakowska, e P. Warszyński, "Nonlinear growth of multilayer films formed from weak polyelectrolytes", *Colloids Surf. Physicochem. Eng. Asp.*, vol. 343, nº 1–3, p. 89–95, jul. 2009.
- [16] I. Popa, B. P. Cahill, P. Maroni, G. Papastavrou, e M. Borkovec, "Thin adsorbed films of a strong cationic polyelectrolyte on silica substrates", *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 309, nº 1, p. 28–35, maio 2007.
- [17] F. Xie *et al.*, "Polyelectrolyte Adsorption on Solid Surfaces: Theoretical Predictions and Experimental Measurements", *Langmuir*, vol. 29, nº 40, p. 12421–12431, out. 2013.
- [18] H. FUJIWARA, *Spectroscopic Ellipsometry - Principles and Applications*. England: John Wiley & Sons Ltd, 2003.
- [19] F. Gatto, "Projeto e construção de um elipsômetro automatizado", Universidade Estadual Paulista, Rio Claro - SP, 2008.
- [20] X. Arys, A. Laschewsky, e A. M. Jonas, "Ordered Polyelectrolyte 'Multilayers'. 1. Mechanisms of Growth and Structure Formation: A Comparison with Classical Fuzzy 'Multilayers'", *Macromolecules*, vol. 34, nº 10, p. 3318–3330, maio 2001.
- [21] Z. Sui, D. Salloum, e J. B. Schlenoff, "Effect of Molecular Weight on the Construction of Polyelectrolyte Multilayers: Stripping versus Sticking", *Langmuir*, vol. 19, nº 6, p. 2491–2495, mar. 2003.
- [22] R. R. Santos e R. S. Alves, "Caracterização elipsométrica de Ti-Nb e seus óxidos", *An. Congr. Anu. ABM*, vol. 72, nº 1, p. 8, 2017.
- [23] M. T. D. Garcia, J. C. M. do Couto, J. A. O. Huguenin, e L. da Silva, "Caracterização de óleo em folha-de-flandres por elipsometria", *An. Congr. Anu. ABM*, vol. 70, nº 1, p. 8, 2015.
- [24] J. de Grooth, R. Oborný, J. Potreck, K. Nijmeijer, e W. M. de Vos, "The role of ionic strength and odd-even effects on the properties of polyelectrolyte multilayer nanofiltration membranes", *J. Membr. Sci.*, vol. 475, p. 311–319, fev. 2015.
- [25] V. Selin, J. F. Ankner, e S. A. Sukhishvili, "Nonlinear Layer-by-Layer Films: Effects of Chain Diffusivity on Film Structure and Swelling", *Macromolecules*, vol. 50, nº 16, p. 6192–6201, ago. 2017.
- [26] A. R. Katritzky, S. Sild, e M. Karelson, "Correlation and Prediction of the Refractive Indices of Polymers by QSPR", *J. Chem. Inf. Comput. Sci.*, vol. 38, nº 6, p. 1171–1176, nov. 1998.
- [27] M. Elzbiaciak, M. Kolasinska, e P. Warszynski, "Characteristics of polyelectrolyte multilayers: The effect of polyion charge on thickness and wetting properties", *Colloids Surf. Physicochem. Eng. Asp.*, vol. 321, nº 1–3, p. 258–261, maio 2008.

Desenvolvimento de um aplicativo para auxílio a capacitação da identificação de sintomas de infarto

Lucas Torres

Universidade de Vassouras
Vassouras, Rio de Janeiro, Brasil
torres.lucas@outlook.com

Marlon Mohamud Vilagra

Universidade de Vassouras Rio de
Janeiro, Brasil,
Marlon.vilagra@uol.com.br

Eduardo Tavares Lima Trajano
Universidade de Vassouras Rio de
Janeiro, Brasil,
eduardolimatrajano@hotmail.com

Carlos Vitor de Alencar Carvalho
Universidade de Vassouras e Centro
Universitário Estadual da Zona Oeste
(UEZO)

Rio de Janeiro, Brasil
cvitorc@gmail.com,
carlos.vitor@pq.cnpq.br

Abstract— *With the increase in the use of smartphones, new means of learning and qualification are being sought due to the facility and greater possibility of reach of users. The present work presents the development of an application for mobile devices, with the purpose of assisting the training and information on the symptoms of heart attack. The tests performed qualitatively and quantitatively are demonstrated, as well as statistics showing the success in the use and a good index of user satisfaction in the use. The set of information presented shows an emerging scenario of technologies applied in the health area.*

Palavras-chave: *Tecnologia aplicada a saúde, aplicativos móveis, aprendizado de sintomas de infarto*

I. INTRODUÇÃO

A chegada de pacientes relatando dor torácica é uma das causas mais comuns em atendimentos emergenciais nos hospitais. Sendo assim, as Unidades de Dor Torácica foram criadas como um dispositivo de auxílio ao atendimento desse tipo de relato. O aumento no uso de smartphones cresceu de maneira assombrosa: 168 milhões de dispositivos estão em uso no Brasil, segundo pesquisa da Fundação Getúlio Vargas de São Paulo (FGV-SP). Além disso, a expectativa é que esse número chegue a 236 milhões em 2018 [1]. Visando essas duas abordagens em paralelo, o presente trabalho apresenta a o desenvolvimento de um aplicativo para dispositivos móveis que facilite o processo de aprendizado, conscientização e ensino dos principais sintomas que podem indicar que uma dor torácica é na verdade um ataque cardíaco. Para isso o aplicativo possui baterias de testes com questões sobre as dores, além de elementos de jogos digitais como uma forma de mostrar a eficácia do meio virtual sob o meio físico.

O presente trabalho tem como objetivo geral o desenvolvimento de um aplicativo para treinamento, informação, ensino e conscientização de profissionais da área de medicina emergencial e comunidade em geral sobre a abordagem de pacientes, bem como demonstrar a eficácia do meio digital de aprendizagem.

II. REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Observam-se na literatura portuguesa diversos trabalhos que envolvam uso de tecnologias e a área médica. Com o objetivo de fazer uma pesquisa com metodologia sistemática para identificar e avaliar artigos relevantes na temática desde trabalho optou-se por fazer uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL). Para a RSL, foram definidos os seguintes objetivos: Identificar aplicativos mobile para treinamento de futuros profissionais na área da saúde e na comunidade no que tange a abordagem inicial em atendimentos; identificar a importância do uso de tecnologia aplicada a área médica. Foi escolhido como fonte de pesquisa o Google Scholar utilizando resultados em português. A seguinte string de busca foi utilizada para a RSL: (("Software" OR "Aplicativo" OR "Game" OR "Jogo") AND (("Torax" OR "Torácica" OR Peito*) AND "Infarto" AND "Dor") AND ("Ensino" OR "Educação" OR "Aprendizado" OR "Conscientização") AND "Emergência").

Apenas resultados em português, trabalhos com alguma relação e relevância para com o tema aqui definido foram considerados. A pesquisa retornou 803 resultados que foram selecionados, e esses mesmos dados estão organizados conforme a ordem de surgimento na busca pela fonte com o protocolo definido (Tabela 1):

Tabela 1 – Artigos selecionados na RSL.

Autores	Título do trabalho	Ano
ALVES, Adriel Freitas	Implementação do OpenEHR para uma aplicação móvel de Registro Eletrônico de Saúde: Estudo em uma empresa de saúde.	2015
TIBES, Chris Mayara dos Santos et al	Aplicativo móvel para prevenção e classificação de úlceras por pressão	2015
CASTRO, Meire Cristina Novelli et al.	Construção de um aplicativo com o Nursing Activities Score: instrumento para gerenciamento da assistência de enfermagem na UTI.	2008
BERTOLA, Marinês Refosco Severo	Cardiac-M: sistema de apoio para identificação de riscos em pacientes crônicos cardíacos.	2011
PRIETO, Rodrigo Gomes.	Desenvolvimento de uma ferramenta de mineração de dados aplicada a medicina	2004
CRUZ, Danielly Karine da Silva	Sistema de gerenciamento remoto de sinais vitais para PDA	2005
SILVA, Claudir Lopes	Desenvolvimento de um software para implantação do processo de enfermagem	2015
OLIVEIRA-NETO, Nestor Rodrigues De	Desenvolvimento de um aplicativo para ensino de eletrocardiografia para alunos de graduação	2015
CORREA, Rodrigo Scherer	Desenvolvimento de software para monitoração e análise de pacientes em programas de reabilitação cardíaca	2005
ANDRADE, Túlio Batista de	Desenvolvimento e implementação de um sistema especialista para auxiliar o acompanhamento e o diagnóstico médico na área de	2005

Fonte: [2].

O artigo [3] expõe um protocolo de padronização dos dados coletados por aplicativos. Além disso, por uma deficiência de caráter técnico, o aplicativo desenvolvido pelo autor não apresenta uma sincronização de dados em tempo real, o que faz com que diversos benefícios sejam perdidos já que segundo [4] um aplicativo é uma forma de aumentar a as funções desses computadores de bolso.

O artigo [4] apresenta uma elaborada dissertação acerca do desenvolvimento do protótipo de uma aplicação voltada a prevenção de úlceras por pressão, contando com um algoritmo para o reconhecimento das fotos de úlceras retiradas pelo aplicativo. A autora ainda destaca uma limitação do aplicativo por ter sido construído somente para a plataforma Android, mesmo o sistema operacional sendo o detentor da maior parcela do mercado.

[5] propôs e elaborou a construção de um aplicativo com o objetivo de coletar dados. [5] ainda destaca a possibilidade de associação das informações com indicadores gerenciais e assistenciais. O aplicativo foi utilizado em um hospital escola, sendo assim pode servir como fonte de informações e para aprendizado da equipe de enfermagem da unidade e de estudantes da graduação e pós graduação, cumprindo assim, os objetivos primordiais de assistência a pesquisa [5].

[6] fornece um avançado estudo sobre uma aplicação direcionada a doenças crônicas. O objetivo mais geral do sistema Cardiac-M é identificar características de pacientes cardíacos de risco. Tal identificação pode ocorrer durante o registro de uma nova consulta do paciente ou após um processo de análise de base de dados atual que detecta indícios de uma situação. Essa segunda situação caracteriza um comportamento proativo do sistema, na detecção e aviso de ocorrência de situações de risco [6]. A classificação quanto ao nível de risco faz uso de técnicas de data mining. Dois modelos de classificação são usadas para essa classificação.

Seguindo a linha de mineração de dados, [7] faz um aprofundado estudo na área. Os dados são considerados hoje como o principal ativo de um projeto de software. Isso se deve, além da redução nos custos de aquisição de hardware

e software, ao desenvolvimento de técnicas capazes de extrair, de forma otimizada, a informação contida, e muitas vezes implícita, nestes dados [7].

[8] aborda a construção de um aplicativo para suportar a equipe médica a partir da visão, nem sempre presencial, de médicos especialistas em Eletrocardiograma (EGC) visto que os dados coletados por esse aplicativo são transferidos para uma base remota. O sistema desenvolvido é bastante importante para a área de telemedicina porque inclui informações cuidadosamente catalogadas como necessárias para um médico fazer um rápido diagnóstico [8].

[9] desenvolve um software para aplicação do processo de enfermagem. Através da inserção de informações dos pacientes como por exemplo os sintomas, o software aponta os possíveis diagnósticos relacionados, contribuindo para que o enfermeiro realize o julgamento clínico e possa planejar suas intervenções de maneira individualizada a cada paciente [9].

[10] apresenta o desenvolvimento de um aplicativo para o ensino de eletrocardiograma para alunos de graduação. Além do conteúdo em forma de texto, o aplicativo inclui também vídeos de eletrocardiograma com as principais arritmias mais comuns, tais como são observados nos monitores das Unidades de Emergência e Unidades de Tratamento Intensivo [10]. No entanto, o aplicativo possui a mesma limitação daquele desenvolvido por [4]: enquanto que o primeiro é focado apenas na plataforma Android, o de [10] é focado apenas no sistema operacional iOS.

[11] demonstra em sua dissertação de um software capaz de realizar a comunicação em hardware e software via porta de comunicação Universal Serial Bus (USB) Através da comunicação estabelecida o software pode apresentar na tela, os dados capturados via EGC.

[12] aborda o desenvolvimento de um sistema embasada em Inteligência Artificial baseado nas informações entradas pelo usuário como forma no auxílio do diagnóstico das doenças infantis mais comuns. Este sistema nasceu como uma forma de contribuição para o trabalho de profissionais e estudantes da área, como auxílio para estudos e para atuar conjuntamente ao pediatra no consultório [12].

III. MATERIAIS E MÉTODOS

O aplicativo, denominado “IUPA (Infarto, um passo antes)”, foi desenvolvido utilizando tecnologias Web. As funcionalidades foram construídas através do framework Apache Cordova [13] que permite a construção de aplicativos multiplataforma, utilizando a linguagem JavaScript [14] como sua base. O banco de dados está armazenado em nuvem, ou seja, os dados ficam disponíveis para acesso de qualquer local. Além disso o mesmo foi desenvolvido sob o paradigma NoSQL [15], bancos de dados não relacionais que trabalham com modelos de alto desempenho, como o Firebase [16], enquanto que o armazenamento local é feito em uma estrutura JavaScript Object Notation (JSON) armazenada em localStorage. Todo o layout utiliza o framework [17].

IV. O APLICATIVO DESENVOLVIDO

O aplicativo contém em sua base uma série de questões pré-cadastradas. Essas questões são apresentadas quando o

usuário inicia os testes. Cada teste tem duração de quarenta segundos com baterias de dez questões, apresentadas de forma aleatória com duas opções de respostas possíveis. Ao final de cada bateria, são apresentadas três estatísticas para o usuário: tempo gasto, questões incorretas e questões corretas. A cada bateria, conforme o tempo se aproxima do limite, a tela apresenta uma mudança gradual no tom de fundo até chegar ao vermelho. Os dados de cada bateria são somados com os dados da bateria anterior e adicionados a estatística geral. Essa estatística geral é enviada para o banco de dados remoto, onde são feitas as análises. A Fig. 1, abaixo, demonstra a tela inicial do aplicativo, a tela estatística que é exibida ao final de cada teste e a tela de questões, respectivamente.

Fig. 1 - Tela Inicial mostrando as estatísticas de testes já realizados.



Fonte: [2].

V. A EXPERIMENTAÇÃO

Como forma de experimentação, foram executadas avaliações quantitativas e qualitativas. A análise qualitativa foi feita através de uma avaliação de reação, coletando opiniões, críticas e sugestões sobre o aplicativo com diferentes pessoas da comunidade. A análise quantitativa foi feita através dos dados coletados.

A. Análise Quantitativa

Os dados foram analisados para a montagem de uma tabela com o desempenho dos usuários em cada teste, e analisados de forma temporal. A Tabela 2, mostra o resultado da primeira realização do teste e da segunda realização do teste para cada usuário apontado na experimentação do estudo.

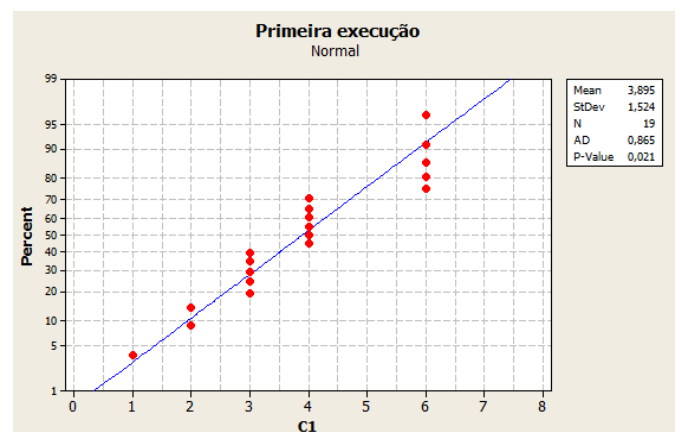
Tabela 2 – Resultados após a primeira execução e segunda execução

	Primeira Execução	Segunda Execução
User 1	6	8
User 2	3	8
User 3	4	6
User 4	4	4
User 5	6	6
User 6	4	4
User 7	4	4
User 8	2	2
User 9	6	4
User 10	1	4
User 11	3	4
User 12	4	7
User 13	6	6
User 14	4	6
User 15	3	7
User 16	3	8
User 17	2	7
User 18	3	6
User 19	6	8

Fonte: [2].

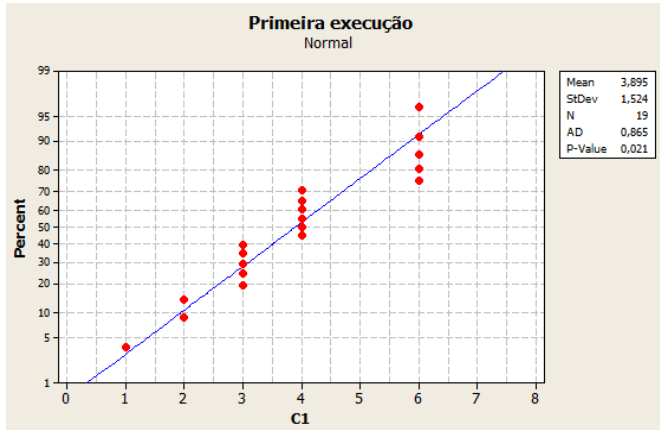
Para a verificação da normalidade, utilizou-se o Teste de normalidade de Shapiro-Wilk, uma vez que a quantidade de amostras é menor que 50. Segundo o Teste de Shapiro-Wilk, as hipóteses são: H0 - os dados seguem uma distribuição normal e H1 - os dados não seguem a distribuição normal. As Figs. 2 e 3 mostram o resultado da análise para os dados Primeira Execução (C1) e Segunda Execução (C2) respectivamente. Para os dados C1, observa-se que o valor de p (0,021) é maior que índice de significância (0,01), portanto, não rejeita-se a hipótese H0. O mesmo é observado para os dados C2. Neste caso o valor de p (0,024) é maior que 0,01, logo também não rejeita-se a hipótese H0.

Fig. 2 - Resultado da análise de dados da primeira execução.



Fonte: [2].

Fig. 3 - Resultado da análise de dados da segunda execução.



Fonte: [2].

Para verificar se as variâncias iguais, utilizou-se o teste F. Considerou-se as hipóteses H0 as variâncias iguais e a hipótese H1 as variâncias diferentes. O resultado do teste mostrou que o valor de F foi 0,72 e o resultado de p foi 0,501. Como p é maior que o índice de significância (0,05), não rejeita-se a hipótese H0, portanto, pode-se dizer que as variâncias para os dois grupos são iguais.

Com a normalidade e a variância verificadas, utilizou-se um teste paramétrico para completar a análise. O teste escolhido foi o teste t de student pareados. As hipóteses definidas para a análise foram: H0 - os acertos dos usuários na primeira e segunda execuções, em média, são iguais, H1 - os acertos dos usuários na primeira e segunda execuções, em média, são diferentes.

O resultado do teste t de *student* apresenta o valor de p (0,001) menor que o índice de significância (0,05), logo, há indícios para aceitar a hipótese nula. Assim, aceita-se a hipótese alternativa (H1), ou seja, que há diferença entre as notas dos grupos C1 e C2. Considerando que a média do grupo C1 é de 3,895 pontos e a média do grupo C2 é de 5,737 pontos, o resultado experimental mostra que o uso do aplicativo favorece a aprendizagem dos utilizadores, considerando um índice de significância de 0.05 (5%).

B. Análise Qualitativa

Na avaliação qualitativa foram inseridas cinco perguntas implementadas de forma livre, porém com opções definidas de resposta, de forma a auxiliar na posterior análise dos dados. A primeira questão se referia a utilização de outros aplicativos pelos usuários que apresentasse a mesma proposta que o IUPA. Apenas 5% dos usuários respondeu que havia utilizado ferramentas parecidas.

Outra questão abordada foi em relação a clareza na construção das perguntas exibidas. Esse é um importante critério visto que está diretamente relacionado a qualidade das respostas. Dos usuários, apenas 9% consideraram que as perguntas não foram exibidas de maneira clara.

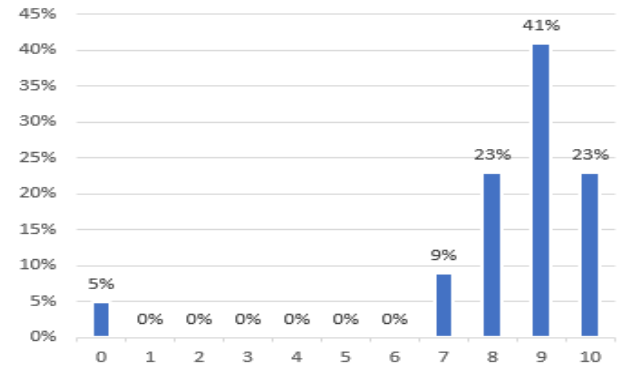
No que tange ao tempo de resposta, não foi possível obter uma maioria: 50% dos usuários acharam que o tempo de resposta não foi satisfatório. Isso demonstra que os

resultados talvez pudessem ser melhorados caso o tempo de resposta fosse maior.

Uma grande maioria dos usuários quando perguntados também apontou que consideram o meio digital (aplicativos, softwares, etc) mais eficaz para o aprendizado em relação ao meio físico (papel, etc)

A última questão abordada foi em relação ao nível de satisfação geral do usuário ao utilizar o aplicativo IUPA, onde 0 indica “Péssimo” e 10 indica “Excelente”. Os percentuais de voto para cada unidade da escala estão expostos na Fig 4. A média geral de satisfação portanto foi de 84%.

Fig. 4 - Escala de Satisfação no Uso do Aplicativo.



Fonte: [2].

VI. CONCLUSÃO

Pelo presente trabalho é possível concluir que as tecnologias digitais, como aplicativos desenvolvidos para smartphones estão cada vez mais presentes no cotidiano humano e que cada vez mais, outras áreas tidas como tradicionais como a medicina tem adotado os meios tecnológicos para o alcance de resultados em diversos níveis de população e tipos de tratamento, capacitação, informação, exibição e etc. A avaliação qualitativa demonstrou que uma satisfação geral de uso pode ser alcançada. O desenvolvimento dessas aplicações utilizando as tecnologias Web acelera o desenvolvimento e apresenta uma facilidade de implementação muito superior a outras tecnologias, bem como um maior alcance de pessoas pode ser visto, além de trazer a possibilidade de desenvolvimento para diversos tipos de dispositivos. Sendo assim, utilizar essas ferramentas como forma de aprendizagem torna-se uma consequência inevitável. Como trabalho futuro é defendido a ideia de um maior número de usuários para realizar o teste da ferramenta, além de uma maior desenvolvimento de toda parte estatística, para que, de forma gráfica, os resultados possam ser vistos e trabalhados de acordo com as necessidades individuais e gerais de cada utilizados

AGRADECIMENTOS

O último autor agradece ao CNPq pelo auxílio financeiro.

REFERÊNCIAS

- [1] F. S. MEIRELES. Pesquisa Anual do Uso de TI nas Empresas, GVcia, FGV-EAESP, 27ª edição, 2016.
- [2] L TORRES. Desenvolvimento de aplicativo para auxílio a capacitação de detecção de sintomas de infarto. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia de Computação) - Universidade Severino Sombra.
- [3] A. F. ALVES. Implementação do OpenEHR para uma aplicação móvel de Registro Eletrônico de Saúde: Estudo em uma empresa de saúde”. Anais do Seminário Tecnologias Aplicadas a Educação e Saúde, v. 1, n. 1, 2015.
- [4] C. M. dos S. TIBES. Aplicativo móvel para prevenção e classificação de úlceras por pressão. Dissertação (mestrado). Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/3287>, 2015.
- [5] M. C. N. CASTRO. Construção de um aplicativo com o Nursing Activities Score: instrumento para gerenciamento da assistência de enfermagem na UTI. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Medicina de Botucatu. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/104859>, 2008.
- [6] M. R. S. BERTOLA. Cardiac-M: sistema de apoio para identificação de riscos em pacientes crônicos cardíacos. Dissertação(Mestrado em Computação Aplicada) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos. Disponível em: <http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/4701>, 2011.
- [7] R. G. PRIETO. Desenvolvimento de uma ferramenta de mineração de dados aplicada a medicina. Monografia(graduação) Universidade do Vale do Itajaí – Centro de Educação Superior de Ciências Tecnológicas, da Terra e do Mar. Disponível em: <http://siaibib01.univali.br/pdf/Rodrigo%20Gomes%20Prieto.pdf>, 2004.
- [8] D. K. da S. CRUZ., Sistema de gerenciamento remoto de sinais vitais para PDA”. Dissertação(mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco. Disponível em: <http://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/2779>, 2005.
- [9] C. L. da SILVA. Desenvolvimento de um software para implantação do processo de enfermagem. Dissertação(mestrado). Universidade do Vale do Rio dos Sinos. Disponível em <http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/4901>, 2015.
- [10] N. R. de OLIVEIRA-NETO. Desenvolvimento de um aplicativo para ensino de eletrocardiografia para alunos de graduação. Dissertação(mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/21383/2/NestorRON DISSERT.pdf>, 2015.
- [11] R. S. CORREA. Desenvolvimento de software para monitoração e análise de pacientes em programas de reabilitação cardíaca. Dissertação(mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina – Centro Tecnológico. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/101970>, 2005.
- [12] T. B. de ANDRADE. Desenvolvimento e implementação de um sistema especialista para auxiliar o acompanhamento e o diagnóstico médico na área de pediatria”. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: <https://www.ppgce.ufmg.br/defesas/465M.PDF>, 2005.
- [13] APACHE SOFTWARE FOUNDATION. The Apache Software Foundation. ”Apache Cordova”. Disponível em <<https://cordova.apache.org/>> Acesso em 28 de março de 2017, 2017.
- [14] MDN. Mozilla Developer Network: “Javascript|MDN”. Disponível em: <<https://developer.mozilla.org/pt-BR/docs/Web/JavaScript>>. Acesso em: 21 de setembro de 2017, 2017.
- [15] AWS. **Amazon Web Services**: “O que é NoSQL?”. Disponível em <https://aws.amazon.com/pt/nosql/>. Acesso em 21 de Setembro de 2017, 2017.
- [16] FIREBASE. Disponível em: <<https://firebase.google.com/>>. Acesso em: 07 de Maio de 2017, 2017.
- [17] MATERIALIZECSS. Disponível em: <<http://materializecss.com/>>. Acesso em: 07 de Março de 2017, 2017.

Determinação Do Consumo De Energia Elétrica Para Os Sistemas De Ar-Condicionado – Um Estudo De Caso

1st Ricardo Alex Dantas da Cunha
Departamento de Mecânica
IFPA
Parauapebas, Brasil
ricardo.alex@ifpa.edu.br

4th Thiago Sena Leite
Departamento de Mecânica
IFPA
Parauapebas, Brasil
thiagosena.leite@hotmail.com

2nd Breno Vinicius Santos De Souza
Departamento de Mecânica
IFPA
Parauapebas, Brasil
santosbreno7707@gmail.com

line 1: 5th Yuri Silva Ribeiro
Departamento de Mecânica
IFPA
Parauapebas, Brasil
yuri13rribeiro@gmail.com

3rd Paulina Lisley Paixão Lima
Departamento de Mecânica
IFPA
Parauapebas, Brasil
paulina.ifpa@outlook.com.br

6th Francisco Silva e Serpa
Departamento de Mecânica
IFPA
Parauapebas, Brasil
francisco.serpa@ifpa.edu.br

Abstract — The survey of the thermal load of refrigerated environments allows us to determine in a safe and concrete way the amount of thermal load required for the studied environment, also the conditioned air systems' electric energy consumption of. Any educational institution should maintain its students in a comfortable environment to achieve a better educational performance. The objective of this work is to present a case study at the Federal Institute of Education, Science and Technology of Para - Campus Parauapebas, determining the electric power consumption of the classrooms' air conditioning at this institute. Initially, a flow chart was proposed to study activities to be carried out in order to guarantee this reach. At first, it was necessary to catalog the values for the currents and voltages for each of the air conditioning units in the classrooms of the institution under study, thus, one can identify the average monthly consumption for each appliance. With this information, it is possible to demonstrate the monetary expenditure of the energy consumption. Then it is possible to estimate of the financial economy after the survey of the total consumption of the electric energy. It should be pointed out that this cataloging was carried out in more intense seasonal periods and in certain months to complete the information for the values to be obtained (voltage and current). In order to carry out the project, we have used important sources of exploratory research, aiming to expand the study of the case. The results showed a voltage variation around 209 to 214 Volts (V) and a current of 11 to 14 Amperes (A) for power devices of 18,000 BTU from that point, it is tried to establish efficient methods to reverse the economic picture of the institution through analyzes and perspectives carried out according to the data collected.

Keywords— *Energy efficiency, Economy, Energy consumption, Air-conditioning system.*

I. INTRODUÇÃO

No intuito de promover a interação entre os conhecimentos apresentados nos anos letivos, serão desenvolvidos projetos integradores que possibilitam a visão crítica e integrada dos conhecimentos, buscando a constante inovação, criatividade e o desenvolvimento de competências. O modelo de integração de conhecimentos permite o desenvolvimento de competências a partir da aprendizagem pessoal e não somente através do ensino unilateral. Os

projetos integradores procuram estabelecer a ambientação da aprendizagem, estimulando a resolução de problemas. Neste plano, o desenvolvimento de projetos integradores tem por objetivo integrar os conhecimentos do mesmo ano letivo, promovendo o desenvolvimento de competências, como a capacidade pessoal de mobilizar, articular e colocar em ação conhecimentos, habilidades, atitudes e valores necessários para o desempenho eficiente e eficaz de atividades requeridas pelo mundo do trabalho e pelo desenvolvimento tecnológico [1].

Com a intenção de interdisciplinaridade entre os conceitos da mecânica, o intuito de abordar temáticas, hoje, relevantes trazemos uma proposta de projeto envolvendo conceitos de eficiência energética, sistemas de ar-condicionado, meio ambiente e sustentabilidade. A questão ambiental tornou-se realmente uma preocupação mundial na década de 1970, quando, diante da crise do petróleo, foram retomadas as investigações sobre fontes energéticas não fósseis. Entretanto, a década de 1990 foi a mais significativa para o movimento ambiental [2]. Em decorrência disso há uma incorporação da preocupação com as transformações ambientais, com alegoria a essas transformações como fruto de um desenvolvimento socioeconômico, produzindo a partir dessas discussões programas que sejam estratégicos para um desenvolvimento sustentável. O artigo faz grande referência ao desempenho ambiental objetivando uma análise comparativa em função do desempenho de determinados sistemas para avaliação ambiental de um edifício [3]

Energia é um conceito fundamental em todas as áreas da Ciência. Seu conceito tem sido explorado desde a época de Aristóteles, século IV a. C. A energia elétrica hoje na principal matéria-prima para as atividades industriais. O uso adequado da energia elétrica envolve a melhoria da eficiência das instalações com a manutenção de sua qualidade, sem prejudicar a produção ou comprometer a segurança das instalações. Já o uso eficiente da energia tiveram seu destaque com a crise do petróleo na década de 70 (1913-1979) com o aumento do preço do petróleo pela OPEP. Com a difusão da importância da sustentabilidade dos sistemas energéticos e, sobretudo, com a elevação dos preços relativos dos combustíveis em meados da década de setenta, surgiu a necessidade do uso racional da energia, quer no âmbito industrial, quer no cenário institucional. Esse

conceito foi aprimorado atualmente, para “eficiência energética”, que está associado ao crescimento econômico, à produtividade, à proteção do meio ambiente e ao desenvolvimento sustentável. As ações de eficiência energética, além de trazer benefícios diretos para o consumidor, com redução de consumo e das despesas, trazem também grandes benefícios para sociedade com a preservação do meio ambiente. A partir disso, define-se eficiência energética como um meio de atrelar o uso racional de energia elétrica sem prejuízo do conforto e do bem-estar do usuário e do meio ambiente [4].

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nessa seção serão discutidos trabalhos acadêmicos relacionados com a eficiência energética de instalações prediais, levando em consideração sistemas de ar-condicionado, dando respaldo a questão ambiental e sustentável e o consumo de energia elétrica para tais instalações.

A. Eficiência Energética em Instalações Prediais

Eficiência energética é uma atividade que busca melhorar o uso das fontes de energia. A utilização racional de energia chamada também simplesmente de eficiência energética, consiste em usar de modo eficiente a energia para se obter um determinado resultado. Por definição, a eficiência energética consiste da relação entre a quantidade de energia empregada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização. Como todo país em desenvolvimento, o Brasil tem uma grande demanda reprimida de energia, mas os índices nacionais de perda e desperdício de eletricidade também são altos. O total desperdiçado, segundo o Procel, chega a 40 milhões de kW, ou a US\$ 2,8 bilhões, por ano. Os consumidores, indústrias, residências e comércio, desperdiçam 22 milhões de kW; as concessionárias de energia, por sua vez, com perdas técnicas e problemas na distribuição, são responsáveis pelos 18 milhões de kW restantes. Portanto qualquer política energética deve estimular a eficiência e o combate ao desperdício por meio de instrumentos de regulação, como a especificação de códigos com consumo máximo de energia em construções ou padrão de desempenho e melhorias em equipamentos para garantir a incorporação de novas tecnologias, mais eficientes, pelos fabricantes [2].

Referência [5], descreve em seu trabalho que os processos de concepção, implantação e acompanhamento de resultados relacionados com a Eficiência Energética, podem ser obtidos por meio de dois métodos de avaliação: o método prescritivo e o método de simulação. O método prescritivo é rapidamente descrito para que seus fundamentos sejam discutidos, indicando especificidades e aplicações do método. É apresentada a aplicação deste método em um edifício existente, considerando 13 alternativas para a determinação dos níveis de eficiência da envoltória, sistema de iluminação e sistema de condicionamento de ar. Mostrou-se os casos nos quais o método de simulação é mais indicado que o prescritivo, por limitações deste último - os resultados variaram de níveis de eficiência A, mais elevados, a E, de baixa eficiência. Dessa forma, mostrou-se o potencial de avaliação do método prescritivo.

Referência [6], analisou e comparou resultados do desempenho térmico da envoltória de uma edificação residencial por meio dos métodos de simulação do RTQ-R e da NBR 15575-1. Para obter níveis de desempenho variados, foi realizado um experimento aleatório com amostragem pelo hipercubo latino. Selecionaram-se os parâmetros variáveis e geraram-se 500 combinações aleatórias. Foi considerado o clima de Florianópolis, SC, e utilizado o programa EnergyPlus para as simulações. Observou-se que, dependendo do cenário de análise, os métodos podem produzir resultados equivalentes ou não. A maior parte dos casos diferiu na análise do inverno, ou seja, 134 casos apresentaram nível A ou B no RTQ-R, e Mínimo ou Não atende pela NBR 15575-1. Para as análises de verão, há 66 casos em que o RTQ-R resulta em nível E, enquanto a NBR 15575-1 resulta em nível Intermediário. Apesar de a análise de sensibilidade indicar semelhança entre os métodos de simulação, o RTQ-R contempla um método de avaliação mais completo e abrangente. No entanto, mais atenção deve ser dada às próprias tabelas de classificação dos métodos, que podem ser as causas de algumas das discordâncias.

Referência [7], realizou uma avaliação da eficiência energética da envoltória, de um projeto de residência unifamiliar por ambos os métodos possíveis pelo RTQ-R - Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (2012), o método prescritivo, que é estabelecido por meio de equações de regressão múltipla de acordo com a zona bioclimática em que localiza-se o projeto, e o método por simulação computacional, onde são especificados parâmetros para modelagem. O objetivo principal é comparar os resultados e avaliar congruências e possíveis discrepâncias entre os dois métodos do Regulamento. Além de utilizar os indicadores de grau-hora de resfriamento (GHR) dos ambientes de permanência prolongada para a edificação naturalmente ventilada resultando em um equivalente numérico de resfriamento, como metodologia de avaliação, utiliza, ainda, o consumo relativo para aquecimento (CA) dos ambientes de permanência prolongada. Estes equivalentes numéricos, de resfriamento e de aquecimento, compõem o equivalente numérico da envoltória. Tendo em vista que estes parâmetros de avaliação são os mesmos tanto para o método prescritivo como para o de simulação, é possível uma comparação direta dos valores de grau-hora e consumo relativo para aquecimento do projeto.

B. Sistemas de Ar-Condicionado

A crescente demanda por edifícios cada vez mais sustentáveis tem gerado aumento na procura por melhores soluções de engenharia de ar condicionado. Algumas medidas para se alcançar melhores soluções de engenharia de ar condicionado são a análise do ambiente e os parâmetros a serem considerados para a aplicação de uma melhor eficiência energética, tais como: tamanho do ambiente, escolha correta do local onde o aparelho estará acoplado, a ventilação natural, padrões de janelas, dentre outros, considerando estes como fatores fundamentais nessa determinação, certos de que esses parâmetros são capazes de afetar o comportamento energético do ambiente e que estes também estejam ligados aos fatores que influenciam nas trocas térmicas entre o ambiente interno e externo. A partir dos conceitos apresentados, busca-se realizar melhorias no

ambiente natural já modificado por meio do sistema de ar-condicionado de forma a produzir um espaço mais confortável, energeticamente eficiente e com um baixo custo de manutenção, visando também uma reversão financeira dessa economia afirma [8].

Assim, o sombreamento de possíveis elementos do ambiente que permitem a passagem de incidência solar para o mesmo, tais como janelas torna-se um recurso imprescindível na determinação da eficiência energética para o ar-condicionado, pois uma vez que essa incidência é sobreposta sobre o meio interno (ambiente), este é aquecido demasiadamente pela incidência dos raios solares, fazendo com que o sistema de resfriamento, no caso ar-condicionado, trabalhe de forma mais intensa a fim de garantir uma climatização confortável, isto é, consiga manter uma temperatura ambiente [9].

Atrelado a isso no que diz respeito a qualidade do ar interno no ambiente fechado, afirma-se que pode deteriorar-se quando uma ou mais partes desse processo forem inadequadas, microbiológicas do ar interno de uma instituição. A insalubridade apresentada em ambientes climatizados pode ser associada à baixa qualidade do ar insuflado nestes locais, assim como a formação, movimentação e dispersão de contaminantes, sejam contaminantes internos infiltrados ou gerados no sistema de climatização e dutos como vapores, gases, poeiras. Ambientes climatizados artificialmente possuem uma afinidade de componentes químicos (substâncias tóxicas carcinogênicas, radioativas) e biológicos (microrganismo patogênicos) emitidos por diversas fontes e dependendo de condições físicas (umidades do ar, temperatura do ar). Segundo [10], o ar-condicionado é contaminado por partículas geradas por hospedeiros animados, as bactérias e os fungos são capazes de sobreviver em ambientes secos e por longos períodos. O sistema de ar-condicionado utilizado pela instituição se destina apenas a reduzir a temperatura do ambiente, e caracterizado pela recirculação de uma quantidade de ar não tratado após a verificação dos resultados foi sugerida uma intervenção nos aparelhos de ar condicionado com medidas corretivas como manutenção e reparo dos sistemas de ar da instituição e a limpeza dos filtros [11].

C. Máquinas Térmicas

Devemos mencionar que, trabalho pode ser facilmente convertido em outras formas de energia, mas a conversão de outras formas de energia em trabalho não é tão fácil. O trabalho mecânico realizado pelo eixo mostrado na Fig. 1, por exemplo, é convertido principalmente em energia interna da água sob forma de calor, sabemos por experiência própria que qualquer tentativa de realizar o processo inverso falhará. Ou seja, transferir calor para a água não fará o eixo girar. A partir dessa e de outras observações, concluímos que trabalho pode ser convertido em calor de forma direta e completa, mas a conversão de calor em trabalho exige a utilização de dispositivos especiais. Esses são chamados de máquinas térmicas.

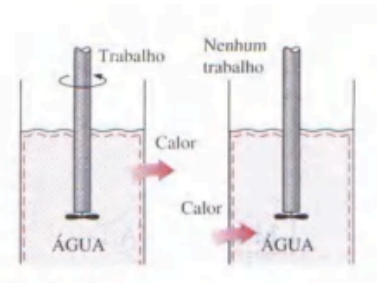


Fig. 1. Trabalho mecânico realizado pelo eixo.

As máquinas térmicas diferem umas das outras consideravelmente, mas todas têm as seguintes características, ver na Fig. 2:

1. Recebem calor de uma fonte à alta temperatura (energia solar, combustão de um gás, reator nuclear etc.).
2. Convertem parte desse calor e trabalho (em geral, na forma de um eixo rotativo).
3. Rejeitam o restante do calor para um sumidouro à baixa temperatura (a atmosfera, os rios etc.).
4. Operam em um ciclo.

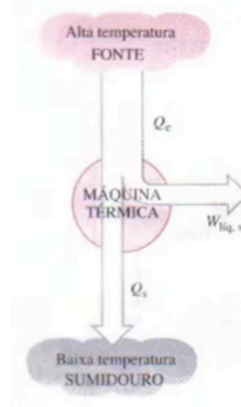


Fig. 2. Representação de uma máquina térmica.

O Dispositivo ou instalação que melhor se ajusta à definição de máquina térmica é a usina a vapor, que é uma máquina de combustão externa. Ou seja, a combustão ocorre fora da máquina e a energia térmica liberada durante esse processo é transferida para o vapor sob a forma de calor. A Fig. 3 mostra um diagrama esquemático de uma usina a vapor básica. Este é um diagrama bastante simplificado. As diversas grandezas mostradas nesta figura são: 1. Q_c : quantidade de calor fornecida ao vapor na caldeira a partir de uma fonte a alta temperatura; 2. Q_r : quantidade de calor rejeitada pelo vapor no condensador para um sumidouro a baixa temperatura (a atmosfera, um rio etc.); 3. W_s : trabalho realizado pelo vapor à medida que se expande na turbina; 4. W_e : trabalho necessário para comprimir a água até a pressão da caldeira.

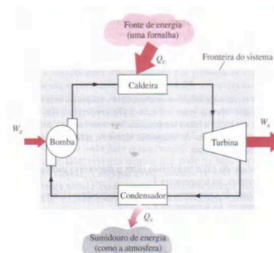


Fig. 3. Representação esquemática de uma usina a vapor.

O trabalho líquido dessa usina de potência é determinada pela Eq. 01 abaixo, onde a mesma é simplesmente a diferença entre a saída total de trabalho e a entrada total de trabalho.

$$W_{liq,s} = Q_e - Q_s \quad (1)$$

Na Eq. 01, Q_s representa a magnitude de energia rejeitada necessária para completar o ciclo. Toda via Q_i nunca é zero; portanto, o trabalho líquido de uma máquina térmica é sempre menor que a quantidade de calor fornecida ao sistema. Isto é, apenas parte do calor transferido para a máquina térmica é convertida em trabalho. A fração do calor fornecido convertida em trabalho líquido do sistema é uma medida do desempenho de uma máquina térmica e é chamada de eficiência térmica (η_t), ver na Fig. 4.

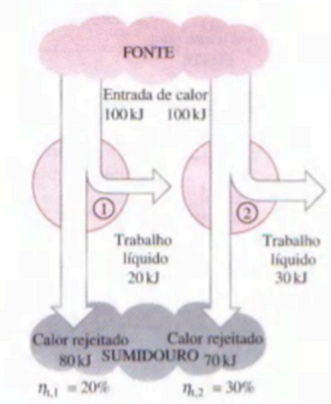


Fig. 4. Algumas máquinas térmicas têm um desempenho melhor que outras (convertem mais do calor em trabalho).

D. Meio Ambiente e Sustentabilidade

Referência [12] a gravidade dos problemas socioambientais que aponta até para a extinção da vida planetária e/ou humana denota uma crise ecológica sem precedentes na história do Planeta Terra, o que vem levar a um questionamento do modelo de desenvolvimento das sociedades urbanas industriais. Como consequência deste questionamento surge o tão proclamado desenvolvimento sustentável, como um desenvolvimento econômico preocupado com a preservação ambiental para garantir a sobrevivência das gerações futuras. Ele também define em seu trabalho sustentabilidade como um conceito que tem o seu sentido ainda em disputa na sociedade. Difundiu-se pelo movimento ambientalista como uma forma de relação entre uma nova sociedade e o meio ambiente que não levasse a degradação do segundo. Ou seja, uma proposta que pressupõe mudanças estruturais na organização social, alterando relações de poder atualmente instituídas. O debate dessas questões, especialmente pela ação das mídias, está de alguma forma vagamente presente no cotidiano dos cidadãos brasileiros, porém ainda distantes de produzirem práticas sociais que produzam mudanças efetivas nas relações sociais, de acordo com [13].

Arelado a isso, afirma-se que a educação ambiental deve se estabelecer como um processo que propicie às pessoas uma compreensão crítica e global do meio ambiente, para que elas possam desenvolver valores e atitudes que lhes permita adotar uma posição participativa a respeito das questões relacionadas com a conservação e a adequada utilização dos recursos naturais, visando-se a melhoria da qualidade de vida e a eliminação da pobreza extrema e do consumismo desenfreado, a construção de relações sociais, econômicas e culturais capazes de respeitar e incorporar as diferenças, e a liberdade para decidir na busca de caminhos alternativos de desenvolvimento MUELLER, 2012. Segundo GUNTHER, a execução de projetos de educação ambiental pode fornecer subsídios significativos para a gestão ambiental e o desenvolvimento sustentável, desde que alguns aspectos sejam observados na intervenção institucional, como por exemplo, a interdisciplinaridade que favorece uma abordagem sistêmica e global do meio ambiente. Outro aspecto significativo são as mudanças comportamentais e a transformação da consciência de cada indivíduo que é o resultado mais efetivo e multiplicador que a educação ambiental pode produzir, pois cada indivíduo estará apto a reproduzir os conteúdos desenvolvidos pela educação ambiental, independentemente. Quando ele compreender que exerce, cotidianamente, um papel como agente de proteção ambiental, seu comprometimento com a questão ambiental estará assegurado, mesmo que exercido de diferentes formas, GUIMARÃES, 2016.

O século XXI foi marcado por transformações onde o desenvolvimento sustentável ainda faz parte desta mudança, influenciado nos processos produtivos e econômicos, refletindo assim na sociedade propondo uma conscientização ambiental. A sustentabilidade é um pensamento que assume um papel essencial na reflexão em torno das dimensões: econômicas, sociais e ambientais do desenvolvimento e das alternativas que se configuram (JACOBI, 1997; GUIMARÃES, 1998). Uma maior exploração sobre o assunto desenvolvimento sustentável fez com que a sociedade sentisse a necessidade de se envolver em busca da conscientização, como parte desse envolvimento, as práticas ecológicas foram criadas para que a sociedade haja como agente transformador da realidade vigente, modificando seus hábitos em prol do meio ambiente. Novos hábitos começam a fazer parte do cotidiano do indivíduo, essa é a única saída viável e inteligente que o ser humano pode tomar, neste momento preocupante para a qualidade de vida no planeta. O estabelecimento de práticas ecológicas no dia a dia da população é um processo cuidadoso e lento, mais no final é satisfatório se houver a consciência da sociedade (SOUZA et al., 2013). Nesse sentido, CALDERINI, 2003, afirma que as práticas ecológicas surgem como ferramentas utilizadas para promover o desenvolvimento sustentável, inserindo ações interdisciplinares de saberes e atitudes que envolvem a participação do indivíduo na conscientização de novas formas para lutar por um equilíbrio entre o homem e o meio ambiente (De Souza, Vamberto et. al, 2017).

III. MATERIAIS E MÉTODOS

Nessa seção iremos abordar os materiais e métodos usados para determinarmos o consumo correto de energia elétrica das salas de aula do IFPA – Campus Parauapebas.

A. Materiais

Para efeito de levantamento de carga térmica será considerado os meses entre fevereiro e julho do ano vigente com base na norma ABNT 16401-1 para umas condições externas de temperatura de bulbo seco (TBS) no valor de 33°C, e temperatura de bulbo úmido (TBU) de 19°C, para uma frequência de 2%, uma vez que o cliente não especificou e o projeto não tem alto nível de exigência. A hora considerada foi 12:00 horas, condições internas de TBS = 33°C e umidade relativa de 50% para conforto térmico. As salas de aula localizam-se em Parauapebas/PA, aproximadamente 6,349° de latitude sudoeste (para efeitos de cálculos 20° de latitude sudoeste).

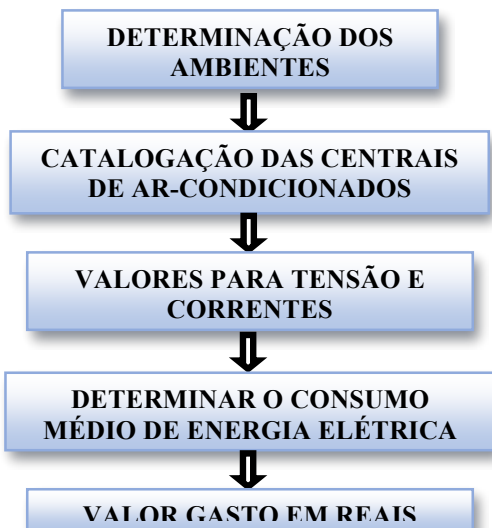
Diante dos dados levantados segundo a norma citada acima, temos parâmetros podermos identificar o consumo real de energia elétrica. As medições para tensão e corrente foram realizadas usando o instrumento INSTRUMENT AD81-00 mostrado na Fig. 5.



Fig. 5. Instrumento de Medição de Tensão e Corrente

B. Métodos

Na Fig. 6, podemos ver o fluxograma para o projeto com todas as etapas que foram seguidas para a obtenção dos resultados finais.



A primeira fase para a realização do trabalho após a elaboração/construção do projeto através da problematização foi determinar os ambientes em que seriam aplicadas as medidas do mesmo. Como o objetivo do projeto está voltado diretamente as salas de aulas onde os alunos do Médio Integrado estão inseridos, as salas determinadas foram: 4, 5, 7, 8 e 9.

Após definição dos ambientes de estudo (primeira fase), deu continuação no projeto através da catalogação da medida dos valores de tensão e corrente para cada um dos ar condicionados das salas em análise. Para obtermos tais resultados, foi organizado um cronograma para medições desses dois fatores (tensão e corrente), considerando uma semana a cada mês, começando em março até junho do ano decorrente. Deve salientar que para as medições de tensão e corrente foram feitas 5 medições e retirado as médias aritméticas para cada das medições.

Para determinarmos os valores para tensão e corrente, utilizamos o alicate medidor (Fig. 5), onde fomos diretamente a um dos painéis de controle elétrico da instituição para realizarmos essa atividade. Foi especificado cada disjuntor no painel corresponde a cada ar condicionado de todas as salas em estudo, tornando possível e de forma mais prática, obtermos os valores requeridos.

Segundo a CELPA (2018) o consumidor é enquadrado na tarifa horo-sazonal Verde tipo A4, a qual, segundo a norma da ANEEL (2013) pode ser cobrada por fator de potência inferior a 0,92, valor atendido pelos equipamentos medidos segundo as especificações dos fabricantes. Desta forma este será o valor utilizado para o cálculo de energia ativa no corrente trabalho. O valor da energia é, então calculado, segundo FRANCO (2006) a potência ativa monofásica (salas de aula 4 e 5) é calculada pela Eq. 2:

$$P = V \times I \times 0,92 \tag{2}$$

Onde,

V - Tensão Medida

I - Corrente medida

Cos (Φ) - Fator de Potência = 0,92

Já para a potência ativa trifásica (salas de aula 7, 8 e 9) é calculada pela Eq. 3:

$$P=3 \times V \times I \times 0,92 \tag{3}$$

V - Tensão Medida (fase-neutro)

I - Corrente medida

Cos(Φ) - Fator de Potência = 0,92

Consequentemente pode-se determinar a energia consumida diária (Ed) levando em consideração a Eq. 3 . Para o consumo diário o tempo de uso dos aparelhos de refrigeração, foi estimulado em 11 horas de funcionamento.

$$Ed=P \times t \tag{4}$$

Para o consumo elétrico mensal (Em), ver Eq. 5, o período de utilizado foram os dias letivos que constam no calendário acadêmico da Instituição, para cada mês de estudo houve uma variação dos dias letivos. No mês de março tiveram 22 dias letivos, em Abril 21 dias letivos, em Maio 21 dias letivos e em Junho 22 dias letivos.

$$Em=Ed \times \text{dias letivos} \tag{5}$$

O valor gasto (R\$) foi definido conforme a visualização das contas de energia elétrica dos meses de estudos fornecidas pela direção de administração e planejamento (DAP). Para o mês de Março o valor do custo em reais para o kWh foi de R\$ 0,426323, para o mês de Abril o valor do custo em reais para o kWh foi de R\$ 0,437475, para o mês de Maio o valor do custo em reais para o kWh foi de R\$ 0,459148 e para o mês de Junho o valor gasto em reais para o kWh foi de R\$ 0,451921.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nessa seção, discutiremos os resultados apresentados nas medições para tensão e corrente das salas de aula buscando identificar o custo final de energia elétrica devido ao uso dos ar condicionados do IFPA – Campus Parauapebas.

Na Tab. 1, podemos observar que os valores para as medidas de tensão e corrente provenientes das salas de aula citadas anteriormente, deve ressaltar que os valores médios para tais parâmetros giraram em torno de 123 V e 211 V, e para corrente 12 A e 7 A apresentando uma variação nas medições para os ar condicionados monofásicos e trifásicos.

TABLE I. VALORES PARA TENSÃO E CORRINTE

MÊS	Valores para Tensão (V)		Valores para Corrente (A)	
Março	Sala 04 – 123,6	Sala 05 – 120,3	Sala 04 – 12,1	Sala 05 – 13,4
	Sala 07 – 211,2	Sala 08 – 209,3	Sala 07 – 7,6	Sala 08 – 11,6
	Sala 09 – 212,3		Sala 09 – 7,5	
Abril	Sala 04 – 123,5	Sala 05 – 121,8	Sala 04 – 11,9	Sala 05 – 12,5
	Sala 07 – 211	Sala 08 – 212	Sala 07 – 7,9	Sala 08 – 7,6
	Sala 09 – 211,5		Sala 09 – 7,5	
Maio	Sala 04 – 123,7	Sala 05 – 122	Sala 04 – 12,5	Sala 05 – 0,6
	Sala 07 – 212	Sala 08 – 212	Sala 07 – 7,3	Sala 08 – 7,3
	Sala 09 – 212		Sala 09 – 7,5	
Junho	Sala 04 – 123,4	Sala 05 – 121,5	Sala 04 – 14,1	Sala 05 – 13,7
	Sala 07 – 205,6	Sala 08 – 205,9	Sala 07 – 8	Sala 08 – 8,5
	Sala 09 – 206,8		Sala 09 – 13,5	
Total Médio	Sala 04 – 123,55	Sala 05 – 121,4	Sala 04 – 12,65	Sala 05 – 10,05
	Sala 07 – 210,42	Sala 08 – 209,55	Sala 07 – 7,7	Sala 08 – 8,75
	Sala 09 – 211,33		Sala 09 – 9	

Na Tab. 2, podemos observar os valores para a potência e energia elétrica consumida, a energia elétrica consumida mensal, e o valor gasto em reais pelos ar condicionados. Houve um valor crescente para a potência elétrica consumida em relação as salas de aula dando destaque para a sala 07 apresentando uma potência total consumida de 31,157 kW isso se deu devido a uma variação de tensão nos dias das medições dos meses de março, abril e maio, onde houve uma variação em torno de 7 V, já para as medidas da corrente, nesse mesmo período, não ocorreu uma variação significativa.

Para a energia elétrica consumida diária, a sala de aula 05 apresentou um valor menor (49,28 kWh) do que as demais salas de aula, com um percentual de 15,74% menor em relação a sala de maior consumo (sala 07) a qual obteve um consumo total de 313,19 kWh. Se levamos em consideração um valor médio total para a energia consumida diária dos

locais de estudo teríamos um consumo de 177,978 kWh, valor este que representa 27,69% maior da sala 05.

O valor total para a energia elétrica consumida mensal para as salas de aula do referido estudo foi de 19.168,182 kWh, valor expressivo apenas para o uso dos ar condicionados, deve salientar que foram levados em consideração apenas os dias letivos. Diante das faturas da concessionária CELPA (ver anexos) podemos verificar que o total de kWh consumido pela instituição de modo geral nos meses do estudo foi de 67.776,72 kWh, com isso, o consumo dos ar condicionados representou 28,28% do valor total desse parâmetro.

Na Tab. 2, podemos observar ainda o valor total (R\$) para cada sala de aula, diante disso, fica evidente que o uso dos ar condicionados traz certo custo para a instituição o valor total apenas para os mesmos no período do estudo foi de 8.506,97 R\$ esse capital representa certa de 12,32% do valor total que a instituição pagou entre os meses de março e junho, cujo valor foi de 69.073,39 R\$, obtido atrás da CELPA. Para cada mês do estudo esse percentual variou entre 0,87% a 4,33%, para as salas 04 e 07, respectivamente, as quais apresentaram o menor e o maior custo.

MÊS	Potência Elétrica Consumida (kW)	Energia Elétrica Consumida Diária (kWh)	Energia Elétrica Consumida Mensal (kWh)	Valor gasto (R\$) pelos ar condicionados
	Março	Sala 04 – 1,37 Sala 05 – 1,48 Sala 07 – 4,43 Sala 08 – 6,70 Sala 09 – 4,39	Sala 04 – 15,13 Sala 05 – 16,31 Sala 07 – 48,75 Sala 08 – 73,71 Sala 09 – 48,34	Sala 04 – 332,97 Sala 05 – 358,82 Sala 07 – 1072,59 Sala 08 – 1621,62 Sala 09 – 1063,49
Abril	Sala 04 – 1,35 Sala 05 – 1,40 Sala 07 – 4,60 Sala 08 – 4,44 Sala 09 – 4,37	Sala 04 – 14,87 Sala 05 – 15,40 Sala 07 – 50,60 Sala 08 – 48,91 Sala 09 – 48,15	Sala 04 – 312,33 Sala 05 – 323,56 Sala 07 – 1062,74 Sala 08 – 1027,23 Sala 09 – 1011,32	Sala 04 – 136,63 Sala 05 – 141,54 Sala 07 – 464,92 Sala 08 – 449,38 Sala 09 – 442,42
Maio	Sala 04 – 1,42 Sala 05 – 0,067 Sala 07 – 4,27 Sala 08 – 4,27 Sala 09 – 4,38	Sala 04 – 13,64 Sala 05 – 0,740 Sala 07 – 46,98 Sala 08 – 46,98 Sala 09 – 48,27	Sala 04 – 328,60 Sala 05 – 15,556 Sala 07 – 986,68 Sala 08 – 986,68 Sala 09 – 1013,72	Sala 04 – 150,87 Sala 05 – 7,13 Sala 07 – 453,03 Sala 08 – 453,03 Sala 09 – 465,44
Junho	Sala 04 – 1,6 Sala 05 – 1,53 Sala 07 – 4,94 Sala 08 – 5,25 Sala 09 – 8,37	Sala 04 – 17,6 Sala 05 – 16,83 Sala 07 – 54,34 Sala 08 – 57,75 Sala 09 – 92,07	Sala 04 – 387,2 Sala 05 – 370,26 Sala 07 – 1195,48 Sala 08 – 1270,5 Sala 09 – 2025,54	Sala 04 – 174,98 Sala 05 – 167,32 Sala 07 – 540,26 Sala 08 – 574,16 Sala 09 – 915,38
Total Médio	Sala 04 – 5,74 Sala 05 – 4,47 Sala 07 – 28,46 Sala 08 – 20,66 Sala 09 – 21,51	Sala 04 – 63,24 Sala 05 – 49,28 Sala 07 – 313,19 Sala 08 – 227,35 Sala 09 – 236,83	Sala 04 – 1361,1 Sala 05 – 1068,17 Sala 07 – 6746,79 Sala 08 – 4906,03 Sala 09 – 5086,07	Sala 04 – 604,43 Sala 05 – 468,96 Sala 07 – 2988,87 Sala 08 – 2167,9 Sala 09 – 2276,63

V. CONCLUSÕES

A partir dos resultados experimentais apresentados na seção anterior pode-se concluir que:

- A sala que apresentou maior consumo de energia elétrica foi a sala de aula 07, com um consumo médio mensal em torno de 6746,79 kWh para o tempo de estudo (março até junho);
- O custo em reais é um valor expressivo para a instituição apenas para o uso dos ar condicionados;
- A sala de aula 04 apresentou menores valores para todos os parâmetros estudados;
- A importância da conscientização da comunidade escolar (servidores e alunos) para o uso correto das centrais de ar condicionado;

ACKNOWLEDGMENT

Agradeço ao IFPA/ Campus Parauapebas pelo apoio a pesquisa.

REFERENCES

- [1] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL, Resolução Normativa Nº 569, de 23 de julho de 2013. Brasília - DF.
- [2] BUENO, Cristiane; ROSSIGNOLO, João Adriano. Desempenho ambiental de edificações: cenário atual e perspectivas dos sistemas de certificação. *Revista Minerva*, v. 7, n. 1, p. 45-52, 2010.
- [3] CELPA. Tarifas em vigor. Disponível em: <http://www.celpa.com.br/display/3e3a32b8-193a-41cd-a86a-528e334bda28>. Acesso em 23/05/2018
- [4] DE SOUZA, Vamberto Oliveira; DE SOUZA, Cinthia Raquel. Gestão de resíduos sólidos em uma escola técnica do eixo coureiro-calçadista no município de Campina Grande–PB. *Meio Ambiente e Sustentabilidade*, v. 9, n. 5, 2017.
- [5] FRANCO, P. C. Circuitos Polifásicos. UNB, Brasília - DF. 2006
- [6] GUERRA, Antonio Fernando; FIGUEIREDO, Mara Lúcia; RUSCHEINSKY, Aloísio. Ambiente e sustentabilidade no sistema nacional de ciência, tecnologia e inovação do Brasil. *AMBIENS. Revista Iberoamericana Universitaria en Ambiente, Sociedad y Sustentabilidad.*, v. 1, n. 1, 2015.
- [7] GUIMARÃES, Mauro. Por uma educação ambiental crítica na sociedade atual. *Revista Margens Interdisciplinar*, v. 7, n. 9, p. 11-22, 2016.
- [8] MARIN, Patrícia; AMORIM, Cláudia Naves David. Estratégias para a eficiência energética de residências unifamiliares na serra gaúcha: uma análise baseada no RTQ-R. *ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, v. 14, 2012.
- [9] PEDRINI, Aldomar et al. Análise comparativa da eficiência energética de envoltórias segundo o regulamento de etiquetagem de edifícios. *ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, v. 13, 2010.
- [10] SÓRIA, AYRES FRANCISCO DA SILVA, EFICIÊNCIA ENERGETICA, Editorial BASE, 2010.
- [11] SORGATO, Marcio José; VERSAGE, Rogério; LAMBERTS, Roberto. Sombrear ou não sombrear janelas. *Nota técnica*, n. 02, 2011.

Análise Energética e Econômica do Potencial de uso do Biogás produzido no Aterro de Guarapuava/PR

João Victor Batista Travessa
PPPRO
CEFET/RJ
Rio de Janeiro, Brasil
joaobt@poli.ufrj.br

Ronney Arismel Mancebo Boly
PPPRO
CEFET/RJ
Rio de Janeiro, Brasil
ronney.boly@gmail.com

Abstract— *The production of biogas from Municipal Solid Waste (MSW) has been interested in equating two strategic factors for cities: the disposal of urban waste and the generation of energy. The generation of biogas by anaerobic digestion is a solution to this equation. The present study proposes the implantation of a biodigester coupled to two internal combustion engines (ICE) in the Municipal Landfill of Guarapuava, in the state of Paraná. This study showed that the proposed plant has a potential production of 4.77 MW electric energy, besides showing the economic viability in different scenarios.*

Keywords— *thermoeconomic analysis, biogas, bioenergy, municipal solid waste (MSW).*

I. INTRODUÇÃO

Os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) compreendem, principalmente, resíduos gerados em aglomerações humanas em áreas urbanas. Dentre os principais tipos de resíduos estão: os resíduos residenciais, comerciais, industriais, dos serviços de saúde, da construção civil e aqueles provenientes da limpeza pública. A preocupação crescente em relação aos RSU são decorrentes da quantidade de resíduos gerada e também em relação às formas de descarte [1]. Em 2016, a geração média de resíduos sólidos urbanos per capita foi de 1,04 kg/hab/dia, o equivalente a 214.405 t/dia de RSU gerados no país [2].

A busca por soluções na área de resíduos reflete a demanda da sociedade, motivada pelos elevados custos socioeconômicos e ambientais. Se manejados adequadamente, os resíduos sólidos podem adquirir valor energético e comercial, por exemplo, como matéria prima para produção de biocombustível, especificamente, biogás [3].

O biogás é uma mistura de gases composta principalmente por metano e dióxido de carbono, obtido normalmente através do tratamento de resíduos domésticos, agropecuários e industriais, por meio de processo de biodegradação anaeróbia [4]. O biogás produzido pode, então, ser queimado para a geração de calor, ou utilizado em um conjunto motor/gerador para geração de eletricidade [5].

A geração de energia elétrica através do biogás de aterros sanitários apresenta ganhos para a sociedade na geração de empregos, além de ser uma fonte de renda para as prefeituras através da comercialização de energia e da troca de créditos de carbono, mas também. Entretanto, o maior ganho é do ponto de vista ambiental, através da diminuição da emissão de gases de efeito estufa [6].

II. SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA À BIOGÁS

A. Potencial de Produção em Guarapuava/PR

Guarapuava é um município localizado no centro-sul do estado do Paraná, região sul do Brasil, e possui população de mais de 172 mil habitantes [7]. O aterro municipal de Guarapuava recebe aproximadamente 100 toneladas de resíduos sólidos por dia [8], aproximadamente na seguinte composição:

TABELA I. COMPOSIÇÃO DO RSU DE GUARAPUAVA

Categoria	Fração
Resíduos Orgânicos	40%
Recicláveis	38%
Rejeito	22%

Fonte: [8]

Como premissa deste estudo, foi proposta a seguinte composição dos materiais recicláveis compostos do RSU de Guarapuava, com os respectivos valores do Poder Calorífico Inferior (PCI) [9].

TABELA II. COMPOSIÇÃO DO RECICLÁVEL DE GUARAPUAVA

Categoria	Fração (premissa)	PCI da fração (Kcal/Kg)
Papel/papelão	50%	3.780
Plástico macio	20%	7.830
Plástico duro	20%	7.830
Metais	5%	0
Vidro	5%	48

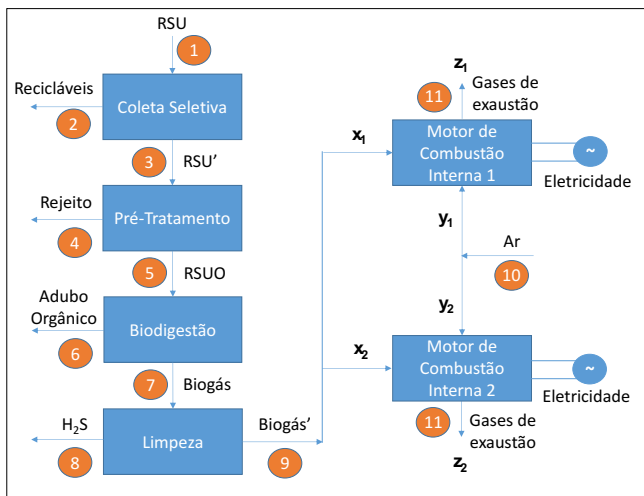
Fonte: Adaptado de [9]

Foi considerado 2.075 kcal/kg como o poder Calorífico do rejeito [9]. Utilizando o valor de 1 kcal como equivalente à 4,184 kJ, foi obtido o valor de 21.022,09 kJ/kg para o PCI dos recicláveis e 13.737,63 kJ/kg para o PCI do rejeito deste aterro.

A composição de biogás considerada neste estudo foi de 58% de CH₄, 42 % de CO₂ [10], com PCI de 15.429 kJ/kg [11].

O fluxograma proposto do processo de geração de energia é composto por 5 etapas: Coleta Seletiva, Pré-Tratamento, Biodigestão, Limpeza e Motor de Combustão Interna (MCI).

FIGURA 1 – FLUXO DO PROCESSO

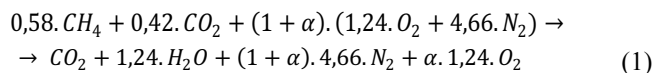


Fonte: Os autores

III. RESULTADOS

A. Modelagem do Motor de Combustão Interna (MCI)

A equação estequiométrica da combustão do biogás no MCI, considerando a composição do ar como 21% O₂ e 79% N₂ é [12]:



Onde (1+α) é a relação entre a massa de ar real e a massa de ar estequiométrica necessária para a combustão completa do combustível utilizado. Quando esta relação é maior que 1 (um), está configurado um cenário de perda de calor nos gases de exaustão [12].

Muitos autores assumem diferentes valores para o excesso de ar, como pode ser visto na tabela abaixo:

TABELA III. COMPOSIÇÃO DO REICLÁVEL DE GUARAPUAVA

Fonte	Excesso de ar (α)
[13]	0,07
[14]	0,2
[15]	0,3
[12]	0,4
[16]	0,5

Fonte: Os autores

No presente estudo, o excesso de ar considerado foi de 40%. A razão ar-combustível na combustão, considerando [12] e [10], é 1,12.

A tecnologia de biodigestão considerada neste estudo foi da Kompogas Suíça e sua representante Kutner do Brasil Ltda [9]. O potencial de produção de biogás do aterro de Guarapuava chega a 23.208,79 Nm³/d [10]. A disponibilidade energética do biogás calculada é de 4.766,20 kW, considerando seu respectivo PCI.

O motor de combustão interna (MCI) selecionado foi o modelo CG260-12 (60Hz) da Catterpillar, onde serão necessárias 2 unidades deste equipamento, cujas características são apresentadas na tabela IV.

TABELA IV. ESPECIFICAÇÕES DO MCI CG260-12 (60Hz)

	Valor
Potência elétrica	2.530 kW
Potência efetiva	17 bar
Temperatura de exaustão	150 °C
Eficiência elétrica	42,2%
Eficiência térmica	40,4%
Eficiência total	82,5%

Fonte: [17]

Para o cálculo da admissão de biogás em cada motor, foram utilizadas as seguintes equações de rendimento de cada motor:

$$\eta_{MCIx} = \frac{E_{prod x}}{E_{comb x}} \quad (2)$$

B. Análise Energética e Econômica

O balanço de massa no volume de controle (VC) é realizado conforme equação (3):

$$\sum \dot{m}_e - \sum \dot{m}_s = 0 \quad (3)$$

Sendo m_e e m_s, respectivamente, as vazões mássicas de entrada e de saída do VC.

Considerando desprezíveis as variações de energia cinética e potencial, a primeira lei da termodinâmica pode ser escrita da seguinte forma [26]:

$$Q_{vc} - W_{vc} + \sum \dot{m}_e h_e - \sum \dot{m}_s h_s = 0 \quad (4)$$

Sendo:

Q_{vc}: taxa de transferência de calor no volume de controle (kW);

W_{vc}: potência ou trabalho no volume de controle (kW);

m_e: vazão mássica entrando no volume de controle (kg/s);

h_e: entalpia específica na entrada do volume de controle (kJ/kg);

m_s: vazão mássica saindo do volume de controle (kg/s);

h_s: entalpia Específica na saída do volume de controle (kJ/kg).

A análise energética é baseada no primeiro princípio da termodinâmica, o que torna possível o cálculo da quantidade de produtos obtidos, a partir das quantidades dos reagentes. Uma das limitações desse método é a falta de informação disponível sobre a degradação de energia que ocorre no processo e a quantidade de utilidade ou qualidade de calor contidos nos fluxos que saem do processo. [9].

Com os dados levantados é possível determinar os fluxos de energia em cada ponto do ciclo. O sistema de equações lineares decorrentes das equações do balanço de massa (3) e energia (4) são apresentadas abaixo:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 + \dot{m}_3 \quad (5)$$

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 + \dot{m}_5 \quad (6)$$

$$\dot{m}_5 = \dot{m}_6 + \dot{m}_7 \quad (7)$$

$$\dot{m}_7 = \dot{m}_8 + \dot{m}_9 \quad (8)$$

$$\dot{m}_{11} = \dot{m}_9 + \dot{m}_{10} \quad (9)$$

$$\dot{m}_3 \cdot h_3 + \dot{m}_2 \cdot h_2 = \dot{m}_1 \cdot h_1 \quad (10)$$

$$\dot{m}_5 \cdot h_5 + \dot{m}_4 \cdot h_4 = \dot{m}_3 \cdot h_3 \quad (11)$$

$$\dot{m}_6 \cdot h_6 + \dot{m}_7 \cdot h_7 = \dot{m}_5 \cdot h_5 \quad (12)$$

$$\dot{m}_8 \cdot h_8 + \dot{m}_9 \cdot h_9 = \dot{m}_7 \cdot h_7 \quad (13)$$

$$\dot{m}_{10}/\dot{m}_9 = 1,12 \quad (14)$$

Onde os pontos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 e 13 são fluxos de RSU, recicláveis, RSU' (RSU após a coleta seletiva), rejeitos, RSUO (RSU orgânico), adubo orgânico, biogás, H₂S, Biogás' (após a remoção de H₂S, ar e gases de exaustão, respectivamente.

Para a resolução do sistema de equações lineares apresentado, foram necessárias as seguintes considerações:

$$h_{11} = 1,094 \text{ kJ/Kg [18];}$$

$$h_{10} = 1,005 \text{ kJ/Kg [18];}$$

$$\text{Concentração de H}_2\text{S no biogás} = 200 \text{ ppm [10];}$$

$$\text{Razão peso/volume de lixo urbano solto} = 159,09 \text{ kg/m}^3 \text{ [8].}$$

Desta forma, através de (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), (13) e (14), obteve-se o resultado apresentado na tabela V.

TABELA V. ANÁLISE DO PROJETO EM GUARAPUAVA

Ponto	\dot{m} (kg/s)	P (kPa)	T (°C)	h (kJ/kg)
1	1,1574	101,3	25	13.737,63
2	0,4398	101,3	25	21.022,09
3	0,7176	101,3	25	9.272,96
4	0,2546	101,3	25	2.075,00
5	0,4630	101,3	25	13.231,84
6	0,3739	101,3	25	13.369,40
7	0,0730	101,3	25	15.429,00
8	$1,46 \cdot 10^{-5}$	101,3	25	302,32
9	0,0730	101,3	25	15.432,03
10	0,0819	101,3	25	299,64
11	0,1549	1.700	150	462,93

Fonte: Os autores

O investimento total do biodigestor considerado é de R\$ 26.207.254,00 [19]. Conforme [11], o investimento total do motor de combustão interna é dado por:

$$I_{MCI} = 1350 \cdot \left(\frac{E_{pMCI}}{1175} \right)^{0,58} \cdot 10^3 \quad (15)$$

O custo de manutenção do sistema de biodigestão+limpeza considerado foi de 0,068 R\$/Kwh [20], considerando a cotação do dólar comercial de 3,77 R\$/US\$ [21].

Segundo [22], o custo do biogás é dado por:

$$CB = \frac{CAB}{PAB} \quad (16)$$

Sendo:

CB: custo do biogás (R\$/m³);

CAB: custo anualizado do investimento do biodigestor (R\$/ano);

PAB: produção anual de biogás (m³/ano).

Segundo [23], o custo anual equivalente é:

$$INV = CAE \cdot \left[\frac{(1+k)^n - 1}{(1+k)^n \cdot k} \right] \quad (17)$$

Sendo:

INV: valor total do investimento;

CAE: custo anual equivalente;

k: custo de capital considerado no projeto;

n: vida útil do equipamento.

O regime de operação considerado foi de 8.760 h/ano, uma vez que a instalação escolhida permite o funcionamento ininterrupto de 24 horas/dia de modo automático no modo supervisorio instalado na sala de controle [19], e para a vida útil do equipamento, foi utilizada a premissa de 30 anos. Desta forma, considerando a cotação do dólar comercial de 3,77 R\$/US\$ [21], e a faixa de custo de capital variando de 4 até 12%, o custo do biogás estimado é apresentado na tabela abaixo:

TABELA VI. CUSTOS DO BIOGÁS

Custo de Capital (% a.a.)	Custo do Biogás (US\$/Kwh)
4	0,0092
6	0,0116
8	0,0142
10	0,0170
12	0,0199

Fonte: Os autores

O custo da energia elétrica produzida pelo sistema proposto é dado por [24]:

$$C_{el} = \frac{I \cdot f}{H \cdot E_p} + \frac{C_{bio} \cdot E_{comb}}{E_p} + C_{man} \quad (18)$$

Sendo:

C_{el} : custo da energia elétrica produzida;
 I : valor total do investimento da planta;
 f : fator de anuidade;
 E_p : energia elétrica produzida;
 C_{bio} : custo do biogás;
 E_{comb} : energia elétrica do combustível;
 C_{man} : custo de manutenção do MCI.

O custo de manutenção considerado do motor de combustão interna é de 0,008 US\$/kwh [24].

O fator de anuidade é dado por [6]:

$$f = \left[\frac{q^k \cdot (q - 1)}{q^k - 1} \right] \quad (19)$$

Considerando:

$$q = 1 + \left(\frac{r}{100} \right) \quad (20)$$

Sendo:

f : fator de anuidade
 k : período de amortização
 r : taxa de juros anual

A receita anual esperada do sistema proposto é dada por [11]:

$$R = C_{bio} \cdot H \cdot (P_{el} - C_{el}) + (E_p - E_{req}) \cdot H \cdot (P_{elEX} - C_{el}) \quad (21)$$

Sendo:

R : receita anual esperada;
 E_{req} : energia requerida pela planta;
 H : quantidade de horas de trabalho da planta por ano;
 P_{el} : preço da energia elétrica;
 C_{el} : custo da energia elétrica;
 E_p : energia produzida pela planta;
 P_{elEX} : preço da energia elétrica excedente.

A tarifa de eletricidade considerada neste estudo foi de 320 R\$/MWh [11], e o consumo da planta 513,70 KW [19]. A tarifa de venda do excedente de energia elétrica considerada foi 0,251 R\$/KWh [25], estimado pelo resultado do Leilão Regulado de Geração e Transmissão de Energia realizado pela ANEEL para a UTE Biogás Bonfim (Leilão 1/2016).

IV. RESULTADOS

O projeto de instalação de biodigestor acoplado a 2 motores Caterpillar modelo CG260-12 (60Hz) no aterro municipal de Guarapuava apresentou potencial de geração de 4,77 MW de energia elétrica a partir da queima do biogás produzido no aterro municipal de Guarapuava/PR.

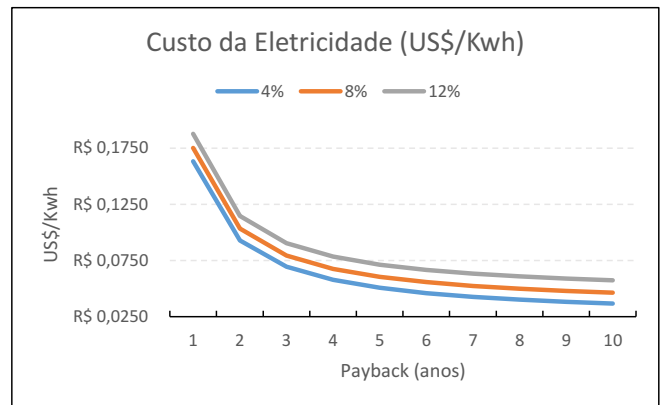
O custo do biogás produzido pelo projeto variou em função do custo de capital para o investimento da planta, conforme apresentado na tabela V. Isto ocorre pois, quanto maior o custo do capital para a implantação do projeto, mais caro é o biogás produzido.

A análise econômica de cenários com custo de capital variando na faixa de 4% a 12% a.a. apresentou *payback*

variando entre 3,07 anos e 5,58 anos. Isto mostra que quanto menor o custo de capital para investimento na planta, mais rápido se obtém retorno do projeto.

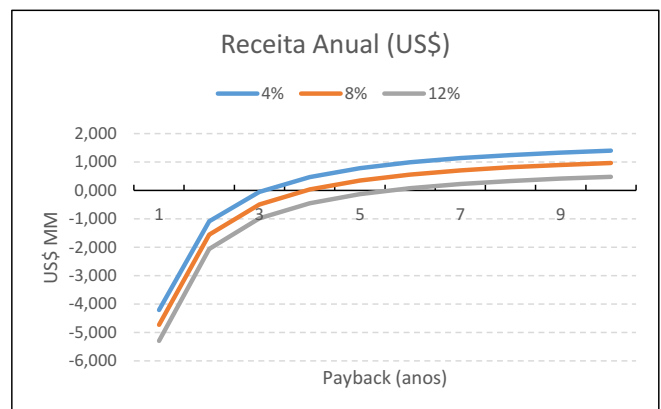
O custo da eletricidade produzida, variando entre os cenários de 4%, 8% e 12% a.a. de custo de capital é apresentado na figura 2, e sua respectiva receita de venda da energia elétrica excedente na figura 3.

FIGURA 2 – CUSTO DA ELETRICIDADE



Fonte: Os autores

FIGURA 3 – RECEITA ANUAL ESPERADA



Fonte: Os autores

O *payback* de cada cenário de custo de capital é apresentado pela tabela VI, onde o mesmo variou de 3,07 até 5,58 anos.

TABELA VII. PAYBACK POR CENÁRIO

Custo de Capital (% a.a.)	Payback (anos)
4	3,07
6	3,43
8	3,92
10	4,59
12	5,58

Fonte: Os autores

V. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A geração crescente de resíduos sólidos urbanos pelas cidades ressalta a importância da destinação adequada destes,

uma vez que se descartados indevidamente, possuem potencial contaminante para o meio ambiente. A utilização dos RSUs para a geração de energia elétrica possui relevante caráter econômico-estratégico para as cidades, uma vez que ajuda a equacionar duas questões-chaves: o descarte adequado dos resíduos gerados e a produção de energia elétrica.

O sistema proposto no presente estudo trata da implantação de biodigestor de capacidade de 15.000 ton/ano da Kompogas Suíça (representada pela Kutner do Brasil Ltda), associada a 2 motores de combustão interna Caterpillar modelo CG260-12 (60Hz), o que apresentou um potencial de energia elétrica de 4,77 MW de bioeletricidade.

Considerando o custo de capital variando de 4% até 12% a.a. em um período de 10 anos, o custo da bioeletricidade produzida variou entre 0,037 e US\$/KWh e 0,188 US\$/KWh, resultando em *payback* variando entre 3,07 anos e 5,58 anos.

Como sugestões para trabalhos futuros sugere-se estudar o aproveitamento térmico dos gases de exaustão dos motores de combustão interna, o que geraria maior retorno econômico da planta proposta. De mesmo modo, sugere-se estudar novas configurações de motores de combustão interna, de modo a avaliar o impacto financeiro de diferentes combinações para a geração de eletricidade.

REFERENCES

- [1] GPS. Grupo de Pesquisa em Sustentabilidade e Inovação. [Online]. Aveliable at: <http://www.ufrgs.br/gps/pesquisa/rsu>. [Acessado: 09-jul-2018].
- [2] ABRELPE. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2016. [Online]. Aveliable at: <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2016.pdf>. [Acessado: 09-jul-2018].
- [3] MMA. Ministério do Meio Ambiente. [Online]. Aveliable at: <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos>. [Acessado: 09-jul-2018].
- [4] Centro Internacional de Energias Renováveis-Biogás (CIBiogás). [Online]. Aveliable at: <https://www.cibiogas.org/biogas>. [Acessado em 22-jul-2018]
- [5] SUZUKI, A. B. P.; FERNANDES, D. M.; FARIA, R. A. P.; VIDAL, T. C. M.. "Uso de biogás em motores de combustão interna". Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias, Guarapuava-PR, v.4, n.1, p.221-237, 2011.
- [6] MIRANDA, Y. C.; NETO, F. F. M. "Viabilidade do uso de biogás como fonte de energia renovável em aterros sanitários". V SNGC, Várzea Grande, MT, 2017.
- [7] Prefeitura de Guarapuava. [Online]. Aveliable at: <http://www.guarapuava.pr.gov.br/turista/sobre-guarapuava/>. [Acessado em 09-jul-2018].
- [8] BIANEK, J.;SCHIRMER, W.N.; CABRAL, A.R.; MAYER, C.L.D; EURICH, P.H.M.; MARTINS, E.H. "Comparação entre metodologias USEPA e IPCC para estimativa teórica de produção de biogás em aterro municipal". BIOFIX Scientific Journal v. 3 n. 1 p. 34-40 2018.
- [9] SOARES, E. L. S. F. Estudo da caracterização gravimétrica e poder calorífico dos resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2011.
- [10] Kompogas AG, Presentation Veolia UK, 2.07.2007. Aveliable at: http://www.elogrup.com/spain/download_arq.asp?aq=Kompogas.pdf. [Acessado em 16-jul-2018].
- [11] GUIMARAES, M. C.; PAULINO, R. F.; SILVEIRA, J. L.; TUNA, C. E.; "The use of biogas from landfills of São Paulo city for bioelectricity generation". The XII latin-american congress on electricity generation and transmission - CLAGTEE 2017.
- [12] XAVIER, B. H. "Aspectos termodinâmicos, ecológicos e econômicos de sistemas de cogeração com motores de combustão interna operando com gás natural, biogás e gás de síntese". UNESP, Guaratinguetá, 2016.
- [13] SILVA, C. L.; MOREIRA, H. B. C. "Avaliação energética de um sistema de refrigeração por absorção utilizando gás de aterro e gás natural". Science & Engineering Journal. 11-16, Dezembro de 2008.
- [14] FLORENTINO, F. S.; SOBRINHO, P. M.; SILVEIRA, J. L. "Aproveitamento energético de resíduos sólidos aplicado à avicultura de corte". UNESP/Departamento de Energia.
- [15] BRAGA, L. B.; SILVEIRA, J. L.; SILVA, M. E.; TUNA, C. E.; BOLOY, R. A. M. "Análise técnica, econômica e ecológica da reforma a vapor de biogás". VII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, São Luiz, MA, 2012.
- [16] MACHADO, D. O. "Análise de desempenho de um motor ciclo otto com biogás". UNISINOS, São Leopoldo, 2014.
- [17] CATTERPILLAR. "CAT® cg260 series gas generator sets". Aveliable at <https://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/LEBE0018-01>. [Acessado em 21-jul-2018].
- [18] LAMAS, W. Q. "Análise termoeconômica de uma min-estação de tratamento de esgoto com auto-suficiência energética". UNESP, Guaratinguetá 2007, 135 f.
- [19] SOLOMON, S. F. V. "Geração de energia com reaproveitamento de resíduos sólidos: valuation em um projeto piloto em Belo Horizonte - MG. FPL, 2016.
- [20] ABREU, F. V.; FILHO, M. A. F. C; SOUZA, M. C. L. "Biogás de aterros sanitários para geração de energia renovável e limpa - Um estudo de viabilidade técnica e econômica". PPG-EM/UERJ.
- [21] UOL. Economia Cotações. Câmbio dólar comercial em 20/07/2018. Aveliable at: <https://economia.uol.com.br/cotacoes/cambio/dolar-comercial-estados-unidos/>. [Acessado em 21-jul-2018].
- [22] COLDEBELLA, A.; SOUZA, S. N. M.; SOUZA, J.; KOHELER, A. C. Viabilidade da cogeração de energia elétrica com biogás da bovinocultura de leite. Aveliable at: <http://www.proceedings.scielo.br/pdf/agrener/n6v2/123.pdf>
- [23] FELDENS, A. G.; MULLER, C. J.; FILOMENA, T. P.; NETO, F. J.K.; CASTRO, A. S.; ANZANELLO, M. J. Política para avaliação e substituição de frota por meio da adoção de modelo multicritério. ABCustos, São Leopoldo: Associação Brasileira de Custos, v. 5, n. 1, p. 61-91, jan/abr 2010
- [24] DENTELLO, R. O. Estudo de geração de energia elétrica em motores stirling acionados por biogás e/ou energia solar". UNESP, Guaratinguetá, 2017.
- [25] Resumo dos resultados dos Leilões de Geração no ACR de 2005 a 2018: UTE Biogas Bonfim - Leilão 1/2016. Aveliable at: <http://www.aneel.gov.br/resultados-de-leiloes>. [Acessado em 04-ago-2018].
- [26] REIS, H. F. A. F., PEREZ, R. "Análise termoeconômica de cogeração com resíduos de palma". The journal os Engineering and exact sciences – JCEC, vol 03 N.07, 2017. P975-985.

CINÉTICA DAS TRANSFORMAÇÕES NUCLEADAS EM LINHAS ALEATÓRIAS EM 2-D: EXPRESSÃO ANALÍTICA E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL.

Aline Cristine Lemos Duarte
*Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Metalúrgica (PPGEM)
Universidade Federal Fluminense (UFF)*
Volta Redonda, Brasil
aline_lemos@id.uff.br

Harison da Silva Ventura
*Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Metalúrgica (PPGEM)
Universidade Federal Fluminense (UFF)*
Volta Redonda, Brasil
harisonventura@id.uff.br

André Luiz Moraes Alves
*Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Metalúrgica (PPGEM))
Universidade Federal Fluminense (UFF)*
Volta Redonda, Brasil
andreluizmalves@yahoo.com

Wesley Luiz da Silva Assis
*Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Metalúrgica (PPGEM)
Departamento de Engenharia
Metalúrgica
Escola de Engenharia Metalúrgica de
Volta Redonda (EEIMVR)
Universidade Federal Fluminense (UFF)*
Volta Redonda, Brasil
wesleyassis@id.uff.br

Paulo Rangel Rios
*Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Metalúrgica (PPGEM)
Departamento de Engenharia
Metalúrgica
Escola de Engenharia Metalúrgica de
Volta Redonda (EEIMVR)
Universidade Federal Fluminense (UFF)*
Volta Redonda, Brasil
prrios@id.uff.br

Felipe da Silva Siqueira
*Escola de Engenharia Metalúrgica de
Volta Redonda (EEIMVR)
Universidade Federal Fluminense (UFF)*
Volta Redonda, Brasil
siqueirafelipe@id.uff.br

Resumo—Nucleação nos contornos de grão é um fenômeno muito recorrente em materiais metálicos. Essa situação foi tratada por J. W. Cahn usando a abordagem de nucleação em planos e linhas aleatórias. Este trabalho estuda a nucleação nos vértices e arestas do polígono Poisson-Voronoi em 2-d com métodos analíticos e simulação computacional. Apresenta-se uma nova equação, válida para 2-d, baseada no método de Cahn para nucleação nos contornos de grão. Essa expressão mostra-se válida para nucleação em linhas aleatórias e linhas paralelas desde que a distância entre as linhas paralelas seja aleatória. Para nucleação nas arestas do polígono de Poisson-Voronoi, os resultados da equação deduzida neste trabalho mostraram boa concordância com os resultados da simulação até cerca de 70% de área transformada. Acima 70%, a concordância foi razoável. Note que a equação deduzida aqui não usou nenhum parâmetro ajustável.

Palavras-Chave—Nucleação, Vértices, Arestas, Tesselação de Poisson-Voronoi, Transformações de Fase, Microestrutura, Contorno de Grão.

Abstract—Nucleation in grain boundaries is a very recurrent phenomenon in metallic materials. This situation was treated by J. W. Cahn for nucleation on random planes and lines. This work studies the nucleation at the vertices and edges of the Poisson-Voronoi polygons in 2-d with analytical methods and computational simulation. A new equation, based on the Cahn's method, for nucleation on random lines on a plane is presented. The new expression derived here is valid for nucleation on random lines and parallel lines on a plane, provided that the distance between the parallel lines is random. For nucleation at the edges of the Voronoi polygon the equation derived in this work showed good agreement with the simulated results up to 70% of transformed area. Beyond 70% the agreement between computer simulation results and the

analytical model was fair. Notice that the equation derived here did not use any adjustable parameters.

Keywords—Nucleation, Vertices, Edges, Poisson-Voronoi Tessellation, Phase Transformations, Microstructure, Grain Boundary.

I. INTRODUÇÃO

Transformações por nucleação e crescimento constituem uma grande parcela das transformações de fase no estado sólido. Uma das primeiras abordagens do tratamento desse fenômeno é conhecida como cinética formal e foi iniciada pelos trabalhos de Johnson-Mehl [1], Avrami [2,3] e Komolgorov [4], daqui em diante estes trabalhos serão referidos no texto como “JMAK”.

O caso mais simples é quando os núcleos estão localizados uniformemente e aleatoriamente no espaço (mais precisamente quando a localização dos núcleos pode ser descrita como um processo de ponto de Poisson [5]).

Um caso de grande relevância é quando ocorre a chamada “saturação de sítios”. Neste caso todos os núcleos surgem nos instantes iniciais da transformação de modo que na prática podemos considerar que todos os núcleos surjam em $t=0$, onde t é o tempo.

Nem sempre a distribuição dos núcleos no espaço é uniforme. Uma situação clássica é quando se tem um policristal e os núcleos podem se formar nos pontos quádruplos (vértices), junções triplas (arestas) ou interfaces (faces) dos grãos. Isto de fato ocorre porque, como já foi

amplamente demonstrado [6], estes locais são sítios preferenciais de nucleação.

O primeiro a modelar a nucleação nos vértices, arestas e faces foi J. W. Cahn num trabalho clássico de 1956 [7]. Posteriormente, Rios e Vila [8] e Villa e Rios [9] revisitaram este problema utilizando métodos matemáticos modernos [10]. Villa e Rios provaram que a equação originalmente desenvolvida por Cahn para planos aleatórios no espaço também era válida para nucleação em planos paralelos desde que a distância entre os planos paralelos seja aleatória. Note que o modelo de Cahn se baseia em considerar que as interfaces podem ser representadas por planos aleatórios, as arestas por retas aleatórias e os vértices por pontos aleatórios.

Em diversos casos esta transformação pode ocorrer não em 3-d, mas em 2-d, por exemplo, em filmes finos ou numa chapa muito fina tal que as dimensões dos grãos sejam maiores que a espessura da chapa ou do filme. Curiosamente, apesar deste problema ser aparentemente mais simples não há, até onde pudemos saber, nem equações analíticas nem simulações computacionais para transformações em um policristal “2-d” nos quais os grãos possam ser tratados como polígonos e a nucleação ocorra nos lados e nos vértices destes polígonos.

No presente trabalho o tratamento de Cahn [7] é aplicado ao problema 2-d. Uma nova expressão é derivada para nucleação em retas aleatórias no plano e, da mesma forma que em 3-d, a solução também vale para retas paralelas desde que a distância entre elas siga a distribuição de Poisson. Os vértices serem considerados aleatórios significa que, segundo Cahn, eles podem ser modelados utilizando a bem conhecida equação devida a JMAK.

Para testar se o modelo é satisfatório quando aplicado a policristais 2-d, o formalismo de Cahn adaptado para 2-d foi utilizado para descrever a nucleação e crescimento quando a nucleação ocorre nos vértices e arestas de polígonos de Poisson-Voronoi [11]. Neste caso utilizamos estes polígonos como representação de um policristal 2-d real.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A. Transformações de Fase por Nucleação e Crescimento

Geralmente a formação de uma nova fase é dividida em duas etapas: nucleação e crescimento [12]. A nucleação diz respeito à formação de uma interface entre a nova fase e a fase matriz, já o crescimento está relacionado à migração desta interface. Uma situação comum em sólidos é a ocorrência de nucleação em contornos de grão. A barreira energética decresce quando se vai dos contornos para os vértices, porém o número de sítios nos contornos é maior que o número de arestas que por sua vez é maior que o número de vértices [12].

B. Descritores Analíticos

Supondo que os núcleos estejam distribuídos de forma aleatória no espaço, a teoria de JMAK prevê, em (1), a fração transformada para os vértices [13].

$$A_A(t) = 1 - \exp(-kt^n) \quad (1)$$

Onde A_A é a fração de área transformada, k e n são constantes. Considerando grãos esféricos, taxa de crescimento, G , constante e nucleação por saturação de sítios, (1) toma a seguinte forma apresentada em (2) [13].

$$A_A(t) = 1 - \exp(-\pi N_A G^2 t^2) \quad (2)$$

Onde N_A é a densidade de núcleos, isto é, o número de núcleos por unidade de área.

C. Modelo de Cahn

Neste trabalho deduzimos, a partir do modelo de Cahn, uma nova equação, vista em (3), que descreve o comportamento cinético em 2-d para sítios distribuídos aleatoriamente nos contornos de grão na matriz

$$A_A(t) = 1 - \exp[-2L_A G t \int_0^1 (1 - \exp(-2N_L G t \sqrt{1-z^2})) dz] \quad (3)$$

Onde $L_A = 2\sqrt{N_A}$ [14] é o comprimento dos contornos por unidade de área e N_L é o número de núcleos por unidade de comprimento dos contornos.

Cahn supôs que os vértices possam ser considerados distribuídos aleatoriamente no espaço. Cahn não deduziu uma expressão específica para este caso e sugeriu o uso da teoria JMAK para descrever a nucleação e crescimento nos vértices. Em 2-d a equação de JMAK é dada por (2) acima.

III. METODOLOGIA

Para validação da equação 2-d deduzida neste trabalho foram feitas simulações considerando-se linhas dispostas aleatoriamente no espaço e linhas paralelas com distâncias aleatórias.

Nesse trabalho, foi utilizado o processo de ponto de Poisson para simulação da posição inicial dos núcleos na matriz. Os resultados são obtidos com base na média de 200 pontos de nucleação.

Para executar os cálculos necessários, fez-se uso do programa “R” para a simulação do processo de pontos. Para determinação da posição dos vértices e arestas da tesselação de Poisson-Voronoi gerada utilizou-se em um programa de linguagem C++, utilizando a biblioteca Voro++ [15]. O modelamento do crescimento foi feito através do método do Cone Causal [5] em um código em linguagem Fortran 2003. Em todas as simulações, a matriz utilizada foi de 1000 x 1000 quadrados. Com o propósito de dimensionalizar a matriz considerou-se que as dimensões da mesma sejam 1mm x 1mm. Ou seja, cada quadrado tem 1 μ m de lado. Adotou-se condições de contorno periódicas. Foram realizadas 50 simulações em cada caso. Os resultados reportados de área transformada representam a média destas

50 simulações. O número de 50 simulações adotado foi baseado em nossa experiência prévia com este tipo de simulação. Além disto, observou-se que aumentando o número não altera a média significativamente.

Para melhor entendimento dos resultados, os dados das simulações estão dispostos em dois casos, aumentando-se a quantidade de núcleos nas arestas, ou seja, para o caso 1, $N_L=0.014$ e para o caso 2, $N_L=0.07$, conforme TABELA 1. Onde n_v é a quantidade de núcleos nos vértices, n_p é a média da quantidade de núcleos do processo de ponto utilizado na tesselação, L_A é o comprimento dos contornos de grão por unidade de área e n_a número de núcleos nas arestas.

TABELA I. PARÂMETROS DA SIMULAÇÃO

n_p	L_A	n_v	Caso 1		Caso 2	
			n_a	N_L	n_a	N_L
200	0.02828	397	397	0.014	1985	0.070

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A. Validação da Expressão Deduzida para 2-d para Retas Aleatórias e Retas Paralelas com Distância Aleatória

As Fig. 1(a) e Fig. 1(b) mostram a fração de área transformada da simulação computacional e a expressão analítica deduzida para 2-d para linhas aleatórias e linhas paralelas, respectivamente. Em ambos os casos, utilizou-se uma média de 15 linhas nas simulações, com média de N_L de 0.014 núcleos por unidade de comprimento.

Pode-se observar que existe uma boa concordância entre os resultados da simulação e o modelo analítico deduzido, comprovando a validação do modelo deduzido neste trabalho em (3).

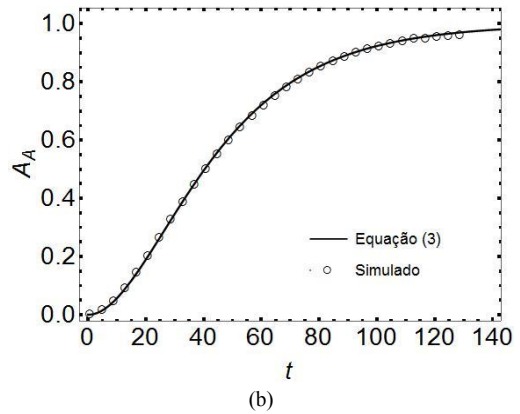
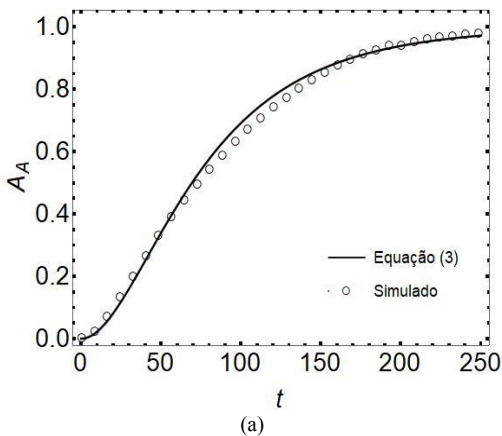


Fig.1. (a) Simulação para linhas aleatórias. (b) Simulação para linhas paralelas.

B. Aplicação do Formalismo de Cahn em 2-d a polígonos de Poisson-Voronoi

1) Nucleação nos Vértices do Polígono de Poisson-Voronoi:

O resultado da evolução microestrutural da nucleação nos vértices com 50% e 100% de área transformada está apresentado nas microestruturas da Fig. 2(a) e Fig. 2(b), nessa ordem, para 200 núcleos do processo de ponto de Poisson.

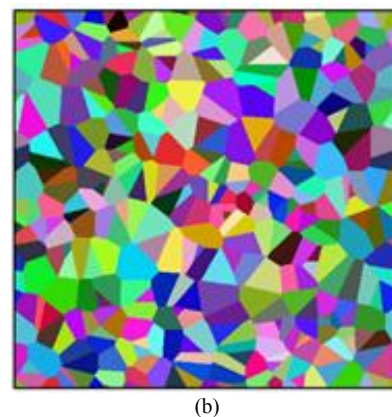
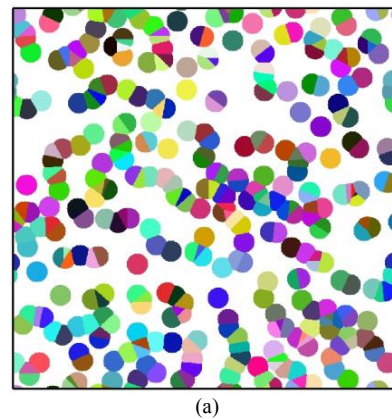


Fig.2. Microestrutura com (a) 50% de transformação e (b) 100% de transformação.

A Fig. 3 ilustra a área transformada versus tempo para o processo de ponto de Poisson. Obtida a tesselação de Poisson-Voronoi, determinou-se que a quantidade média de

pontos nos vértices dos polígonos é igual a 397. Para a transformação, considerou-se a existência de um núcleo em cada vértice, ou seja, os resultados cinéticos apresentados na Fig. 3 são referentes a uma transformação com 397 núcleos.

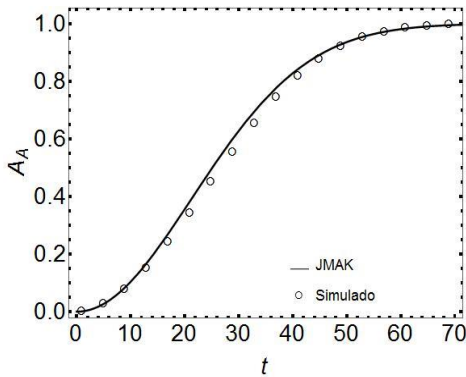


Fig.3. Fração de área transformada *versus* tempo.

Nota-se que as transformações simuladas ocorrem conforme o previsto pela expressão JMAK. Desta forma, como pode ser observado na Fig. 3, a suposição feita por Cahn de que os vértices estão distribuídos aleatoriamente no espaço é totalmente satisfeita para os casos simulados em polígonos de Poisson-Voronoi.

2) *Nucleação nas Arestas do Polígono de Poisson-Voronoi:*

A evolução microestrutural da nucleação nas arestas com 50% e 100% de área transformada está apresentada nas microestruturas da Fig. 4(a) e Fig. 4(b), respectivamente, para o caso 1 ($N_L=0.014$).

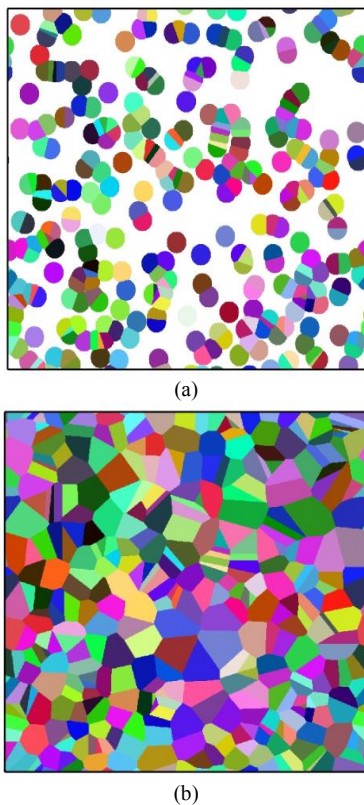


Fig.4. Microestrutura com (a) 50% de transformação e (b) 100% de transformação para $N_L=0.014$.

Da mesma forma, a evolução microestrutural para o caso 2 ($N_L=0.070$) é retratada nas Fig. 5(a) e Fig. 5(b).

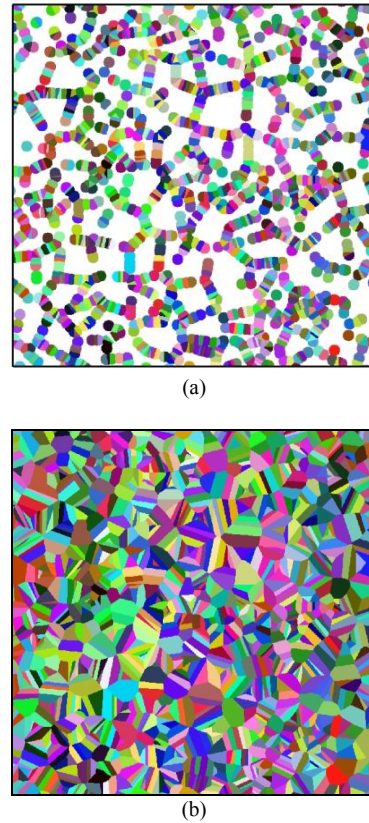


Fig.5. Microestrutura com (a) 50% de transformação e (b) 100% de transformação $N_L=0.070$.

A Fig. 6(a) e a Fig. 6(b) apresentam a fração de área transformada *versus* tempo para os casos 1 e 2, respectivamente.

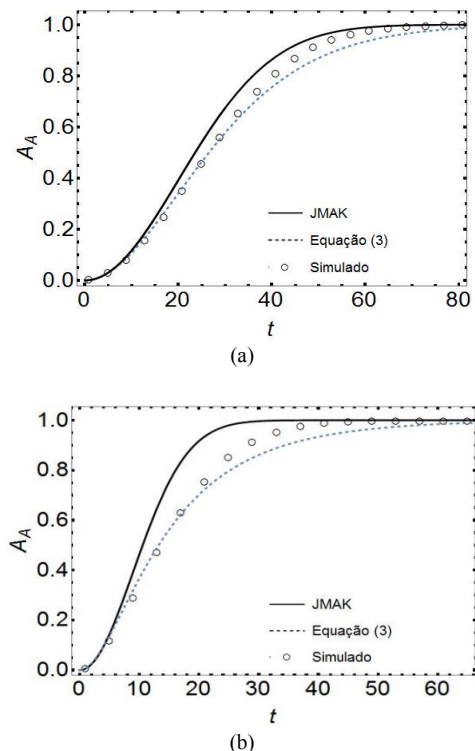


Fig.6. Fração de área transformada *versus* tempo para o (a) caso 1 e (b) caso 2.

Como pode ser observado, os resultados das simulações dos casos 1 e 2 apresentam boa concordância com o previsto por (3), deduzida neste trabalho, até cerca de 70% de transformação. Após 70% a concordância é apenas razoável. Note que (3) não tem nenhum parâmetro ajustável.

Um ponto que as Fig. 4(a) e Fig. 5(a) mostram claramente é que para o valor mais alto de N_L (0.07) as regiões transformadas formam uma “rede” contínua ao longo dos contornos de grão.

Uma melhor concordância pode ser obtida por meio de um ajuste dos parâmetros de n e k de (1). As Fig. 7(a) e Fig. 7(b) ilustram o ajuste. Para o caso 1 (Fig. 7(a)) encontrou-se $n=1.9482$ e $k=0.0012$. Enquanto que para o caso 2 (Fig. 7(b)) obteve-se $n=1.7161$ e $k=0.0078$. Em ambos os casos $R^2=0.9998$. A equação de Avrami, dada em (1), para 2-d foi capaz de ajustar perfeitamente os resultados da simulação. Contudo os parâmetros n e k não têm uma interpretação física clara.

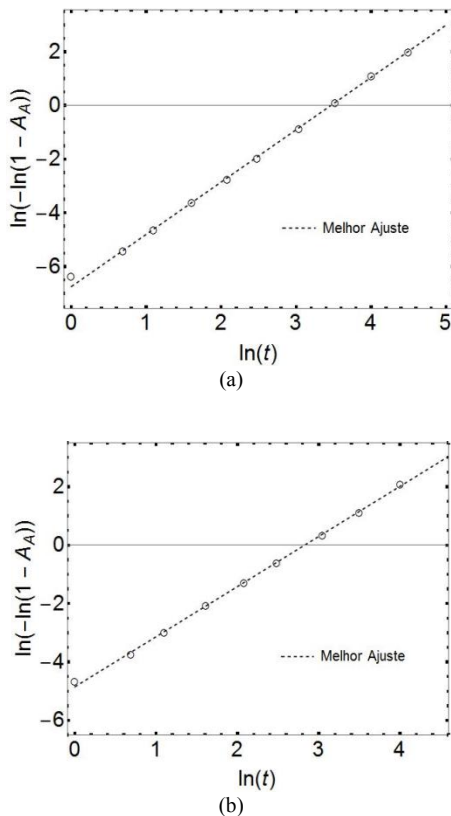


Fig.7. Ajuste da expressão (1) para o (a) caso 1 e (b) caso 2.

V. CONCLUSÕES

- A expressão (3) deduzida neste trabalho foi validada pela simulação de nucleação em retas aleatórias e retas paralelas com distância que segue a distribuição de Poisson, conforme caso análogo em 3-d abordado por Villa e Rios [9].
- Pode-se dizer, com base na Fig. 3, que a nucleação dos vértices do polígono de Poisson-Voronoi em 2-d segue o modelo analítico de JMAK, como sugerido por Cahn [7].

- A nucleação nas arestas do polígono de Poisson-Voronoi apresenta boa concordância com a expressão em 2-d deduzida neste trabalho para fração transformada até cerca de 70% para ambos casos abordados. Acima de 70% a concordância é apenas razoável. Note que esta concordância foi obtida sem parâmetros ajustáveis.

- Foram ajustados os parâmetros k e n de (1) de modo a se obter uma boa descrição da nucleação nas arestas do polígono de Poisson-Voronoi. Para tais parâmetros, a equação apresentou excelente concordância com os resultados simulados computacionalmente. Entretanto, os parâmetros de ajuste não têm uma interpretação física clara.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do CNPq, da CAPES e da FAPERJ.

REFERÊNCIAS

- [1] W.A. Johnson, R.F. Mehl, Reaction kinetics in processes of nucleation and growth, *Trans AIME*. 135 (1939) 416. doi:10.1007/s11663-010-9421-1.
- [2] M. Avrami, Kinetics of phase change. I: General theory, *J. Chem. Phys.* 7 (1939) 1103–1112. doi:10.1063/1.1750380.
- [3] M. Avrami, Kinetics of phase change. II Transformation-time relations for random distribution of nuclei, *J. Chem. Phys.* 8 (1940) 212–224. doi:10.1063/1.1750631.
- [4] A.N. Kolmogorov, On the statistical theory of metal crystallization, *Isvetiia Acad. Nauk. SSSR-Seriia Mat.* 1 (1937) 335–359.
- [5] J.W. Cahn, The Time Cone Method for Nucleation and Growth Kinetics on a Finite Domain, *Mater. Res. Soc. Symp. - Proc.* 398 (1996) 425–437. doi:10.1557/PROC-398-425.
- [6] J.M. Rickman, W.S. Tong, K. Barmak, Impact of heterogeneous boundary nucleation on transformation kinetics and microstructure, *Acta Mater.* 45 (1997) 1153–1166. doi:10.1016/S1359-6454(96)00245-5.
- [7] J.W. Cahn, The kinetics of grain boundary nucleated reactions, *Acta Metall.* 4 (1956) 449–459. doi:10.1016/0001-6160(56)90041-4.
- [8] P.R. Rios, E. Villa, W.L.S. Assis, T.C.S. Ribeiro, Kinetics of transformations nucleated on random parallel planes: Analytical modelling and computer simulation, *Model. Simul. Mater. Sci. Eng.* 20 (2012). doi:10.1088/0965-0393/20/3/035017.
- [9] E. Villa, P.R. Rios, Transformation kinetics for nucleation on random planes and lines, *Image Anal. Stereol.* 30 (2011) 153–165. doi:10.5566/ias.v30.p153-165.
- [10] J.M. Sung Nok Chiu, Dietrich Stoyan, Wilfrid S. Kendall, *Stochastic Geometry and Its Applications*, 3rd ed, Wiley, Chichester-United Kingdom, 2013.
- [11] A. Okabe, B. Boots, K. Sugihara, *Spatial Tessellations: Concepts and Applications of Voronoi Diagrams*, 2nd ed, Wiley, Chichester-United Kingdom, 2000.
- [12] J.W. Christian, *The Theory of Transformations in Metals and Alloys*, Elsevier Science, 2002. <https://books.google.com.br/books?id=kiWjakQeUSAC>.
- [13] K. Barmak, A Commentary of “Reaction kinetics in processes of nucleation and growth,” *Metall. Mater. Trans. A Phys. Metall. Mater. Sci.* 42 (2010) 3241. doi:10.1007/s11661-011-0780-2.
- [14] J. Ohser and F. Mücklich, *Statistical Analysis of Microstructures in Materials Science*, 1st ed, Wiley, New York, 2000.
- [15] C.H. Rycroft, VORO++: A three-dimensional Voronoi cell library in C++, *Chaos*. 19 (2009). doi:10.1063/1.3215722.

IV Congresso Ibero-Americano de Empreendedorismo, Energia, Ambiente e Tecnologia

Sistemas de transmissão baseados em ímãs permanentes

Maria Sabrina Vieira de Miranda de
Paiva de Souza
CEFET/RJ Campus Angra, Instituto
Politécnico de Bragança
Angra dos Reis, Brasil
sabrinasouza680@gmail.com

Amilton Ferreira da Silva Júnior
CEFET/RJ Campus Valença
Valença, Brasil
amilton.junior@cefet-rj.br

Ângela Paula Ferreira
ESTIG – Escola Superior de
Tecnologia e Gestão
IPB – Instituto Politécnico de
Bragança
Bragança, Portugal
apf@ipb.pt

Resumo—As engrenagens magnéticas possuem diversas vantagens quando comparadas com as engrenagens convencionais (mecânicas), como, por exemplo, a não necessidade de lubrificação, manutenção reduzida, transmissão de torque sem contato mecânico, não geração de ruídos, além de possuírem uma maior durabilidade e fiabilidade. Esse trabalho é um projeto analítico de uma engrenagem magnética coaxial com ímãs permanentes de terras raras (NdFeB), utilizando uma metodologia analítica, baseada numa rede de relutâncias

Palavras-Chave—engrenagem magnética coaxial; ímã permanente; terras raras.

I. INTRODUÇÃO

Os ímãs permanentes de terras raras, têm sido nos últimos anos o foco de pesquisas e desenvolvimento na área de tecnologia de transmissão, entre outras, abrindo caminho para a miniaturização de equipamentos, permitindo substituir dispositivos baseados em bobinas para a criação de campos magnéticos. Outros exemplos do avanço da tecnologia das terras raras são as máquinas elétricas baseadas em ímãs permanentes, notebooks, celulares com tamanhos reduzidos e as engrenagens magnéticas que são o tema em questão.

Os ímãs são caracterizados por um elevado campo coercivo e produto energético máximo (BH_{máx}). Quando o fator determinante é o produto energético máximo e não o preço, os ímãs de terras raras apresentam-se como uma opção aos ímãs de ferrites, preferencialmente quando está sendo avaliada a questão de volume e peso.

Os ímãs de terras raras mais fortes na atualidade, são os ímãs Neodímio-Ferro-Boro (NdFeB), sendo estes frequentemente usados em projetos de engrenagens magnéticas.

II. ÍMÃS PERMANENTES DE TERRAS RARAS

A. Gerações dos ímãs de terras raras

Existem três gerações de ímãs de terras raras. A primeira e a segunda geração são compostas por ímãs de Samário e Cobalto, porém caracterizadas por composição química diferente. Já os ímãs da terceira geração são compostos por neodímio, ferro e boro (NdFeB).

B. Ímãs permanentes de Neodímio-Ferro-Boro

Os ímãs de terceira geração foram propostos em 1983 nos Estados Unidos e no Japão, através de processos diferentes. São os ímãs com maior produto energético disponível na atualidade e com excelentes propriedades mecânicas, sendo mais baratos que os ímãs baseados em

Samário e Cobalto, devido a matéria prima ser mais abundante.

Os ímãs de NdFeB apresentam uma relação de características magnéticas/preço que os tornam a liga mais escolhida na atualidade, para intervalos de temperaturas menores ou igual a 150°C e em ambientes não corrosivos[1].

Ímãs à base de NdFeB têm sido considerados para projetos de máquinas elétricas trazendo benefícios tais como alto torque, eficiência aprimorada, volume e peso reduzido[2].

C. Largura da parede de domínio para Nd₂Fe₁₄B

Quando comparado com o disprosio hexagonal, o Nd₂Fe₁₄B é uma fase muito mais complexa. Mesmo para esta estrutura, a largura da parede de domínio pode ser prevista mas, neste caso é necessário o conhecimento da constante de troca J para as interações variadas como $Fe-Fe$, $Fe-Nd$, $Nd-Nd$ e $Fe-B$. Se estas constantes puderem ser determinadas, o modelo para o cálculo da largura da parede de domínio do disprosio também pode ser aplicado para Nd₂Fe₁₄B [3].

Como o modelo da parede Bloch falha com valores de K/W alto, no caso de fases com alta energia magnetocristalina a melhor definição para a energia da parede de domínio é possivelmente a partir do tamanho de partículas de domínio único, conforme a equação 1.

$$R_c = 9\gamma / (4\mu_0 M_s^2) \quad (1)$$

sendo R_c o raio crítico para o tamanho de domínio único.

A energia da parede de domínio pode ser determinada metalografia, de acordo com a equação 2.

$$\gamma = (1.7D^2\mu_0 M_s^2)/L \quad (2)$$

onde a distância média entre as paredes de domínio D varia de acordo com o tamanho do grão L . Sendo M_s a magnetização de saturação, deve-se notar que as equações 1 e 2 fornecem o valor da energia da parede de domínio.

III. ENGRENAGENS MAGNÉTICAS

Uma engrenagem magnética funciona sem que haja atrito entre as peças que a compõem. São utilizados ímãs permanentes para transmitir torque entre a entrada e a saída de um eixo sem contato mecânico. Essa é uma das vantagens da utilização desse dispositivo, já que dessa forma não é

necessária lubrificação e não há desgaste das partes móveis. A desvantagem deste tipo de engrenagem está relacionada ao custo dos ímãs permanentes utilizados nos rotores, pois é necessário uma grande quantidade de ímãs nas engrenagens magnéticas para uma capacidade de transmissão igual à das engrenagens mecânicas[4].

A. Principais vantagens de uma engrenagem magnética

As engrenagens magnéticas oferecem muitas vantagens em relação as engrenagens mecânicas em termos de manutenção reduzida evitando a necessidade de lubrificação, ruído acústico mínimo, fiabilidade aprimorada e proteção de sobrecarga inerente [5],[6],[7]. Ainda em comparação com as suas contrapartes mecânicas, estas engrenagens são mais eficientes em termos de rendimento e permitem maiores velocidades de rotação, devido à sua transmissão de torque sem contato [8].

Estas engrenagens oferecem um isolamento físico entre os eixos de entrada e saída, que é uma característica importante em aplicações de bombas, por exemplo, para evitar a contaminação do fluxo do processo [5].

Além disso, existem topologias, nomeadamente a coaxial, apresentada na secção seguinte, em que a utilização dos ímãs permanentes é muito eficiente, visto que se pode oferecer densidade de torque muito maior do que outras topologias [7].

B. Engrenagem magnética concêntrica

Das topologias existentes a menos complexa mecanicamente é a engrenagem magnética do tipo concêntrica, além disso a sua geometria concêntrica oferece vantagens em relação à integração máquina-acoplamento [9].Esses são alguns dos motivos que tornou essa topologia o foco de pesquisas e desenvolvimento.

Basicamente, uma engrenagem magnética concêntrica é constituída por duas partes móveis, que são os rotores interno e externo e uma parte fixa que é denominada anel estacionário, que tem como função modular os campos magnéticos nos dois entreferros, o interno e externo.

Os rotores são as partes da engrenagem magnética onde são instalados os ímãs permanentes, onde o rotor interno contém menos ímãs que o rotor externo e gira numa velocidade maior que o rotor externo, são chamados também de rotor de alta velocidade e rotor de velocidade baixa, respectivamente. Já o anel estacionário é constituído por material ferromagnético macio e espaços preenchidos por resina epóxi de forma a suportar as peças de ferro. O número de segmentos de material ferromagnético macio, n_s , do anel estacionário é igual à soma do número de polos do rotor interno, p_h , e o número de polos do rotor externo, p_l :

$$n_s = p_h + p_l \tag{3}$$

IV. DIMENSIONAMENTO DE UMA ENGENHAGEM MAGNÉTICA

Um conhecimento mais aprofundado das distribuições do campo magnético nas engrenagens magnéticas é muito importante para a sua otimização e design [7].

O dimensionamento preliminar de uma engrenagem magnética coaxial foi realizado através de um projeto analítico recorrendo a uma rede de relutâncias.

A. Estrutura

A estrutura adotada para o projeto preliminar foi a estrutura coaxial, ou seja, com uma unidade externa e outra interna, ambas concêntricas e com um anel estacionário entre elas, onde ficam acopladas as peças ferromagnéticas macias. A polarização dos ímãs é de forma radial, sendo dispostos com os seus polos norte e sul alternadamente, como ilustrado na Figura 1.

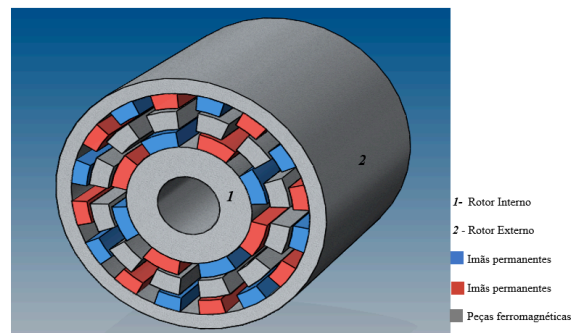


Fig. 1. Estrutura coaxial com polarização radial.

Os ímãs considerados para o estudo devem ser magneticamente muito fortes, com um elevado campo coercivo, por isso os ímãs escolhidos foram de NdFeB, sendo estes os ímãs permanentes com o melhor desempenho magnético a temperaturas relativamente baixas na atualidade. Já as peças ferromagnéticas macias, serão de aço-silício, que é um material com ótimas propriedades magnéticas em termos de baixa relutância e como tal, bons condutores do fluxo magnético, sendo frequente a sua utilização em máquinas elétricas rotativas, transformadores e indutores [10],[11].

A relação de transmissão da engrenagem magnética concêntrica em estudo é definida de 1:2, ou seja, a velocidade angular do rotor interno de alta velocidade é duas vezes a velocidade do rotor externo de baixa velocidade, mas na direção oposta. Escolhida a relação de transmissão da engrenagem magnética e o número de polos de um dos rotores, o número de polos do outro rotor e do anel estacionário é feito através da equação 1.

Para facilitar os cálculos, pode-se utilizar o modelo planar, ou seja, uma linearização do modelo concêntrico. De salientar que esta transformação modifica moderadamente as forças[12]. Para o modelo planar foram utilizados os valores de raios médios para encontrar seus respectivos perímetros, e, sucessivamente estabelecer as distâncias entre os ímãs e peças de ferro e construir a rede de relutâncias para o estudo das propriedades magnéticas da engrenagem.

As distâncias entre os ímãs de um mesmo rotor, foram calculadas utilizando o coeficiente polar β de, aproximadamente, 0,6 que maximiza a utilização do ímã permanente e ajuda a prevenir o fluxo de fugas entre os ímãs, conforme demonstrado em [13]. O coeficiente polar, β , é calculado através da relação a seguir.

Onde w é a largura do ímã. Os mesmos parâmetros são representados na Figura 2.

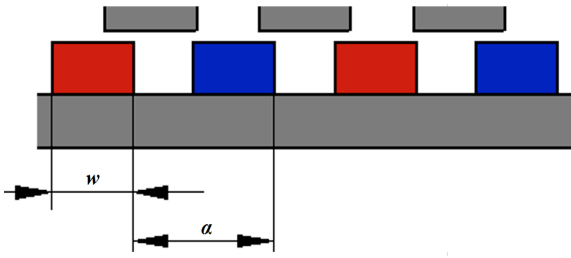


Fig. 2. Medida do passo polar α e a largura do polo w .

O comprimento do entreferro considerado foi de 1mm. Este comprimento é frequentemente utilizado em máquinas elétricas, porém acredita-se que é pequeno para uma engrenagem magnética, devido às margens de tolerância que serão necessárias considerar nesta aplicação. Porém para o primeiro estudo e visto que outros autores utilizaram este comprimento [10] e até comprimentos de entreferros menores [14], vamos considerar o valor de 1mm.

A Tabela 1 mostra os parâmetros pré-estabelecidos para a estrutura da engrenagem magnética concêntrica e a figura 3 ilustra a engrenagem proposta.

Parâmetros da Estrutura da Engrenagem em Estudo		
Descrição	Valor	Unidade
Número de pares de polos no rotor interno, p_i	4	
Número de pares de polos no rotor externo, p_e	8	
Número de peças de ferro no anel estacionário, n_s	12	
Entreferro (air gap), g	1	mm
Comprimento dos ímãs, L	5	mm
Raio interno, r_i	10	mm
Raio externo, r_o	43	mm
Raio médio dos ímãs do rotor interno, R_{mh}	22,5	mm
Raio médio dos ímãs do rotor interno, R_{ml}	29	mm
Raio médio das peças de ferro, R_{ms}	35,5	mm
Espessura dos ímãs, t	80	mm
Comprimento angular de um ímã: rotor interno, θ_h	28,02	deg
Comprimento angular de um ímã: rotor externo, θ_l	12,89	deg
Comprimento angular das peças ferromagnéticas, θ_s	17,76	deg
Comprimento angular de um polo: rotor interno, α_i	45	deg
Comprimento angular de um polo: rotor externo, α_e	22,5	deg
Comprimento angular de um polo: peças ferromagnéticas, α_s	30	deg

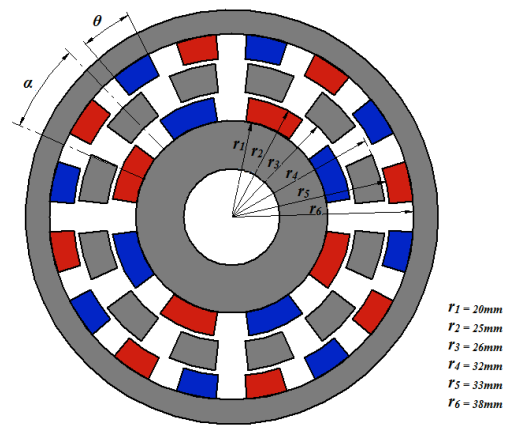


Fig. 3. Estrutura da engrenagem magnética coaxial.

B. Rede de relutâncias

Comparado com um circuito elétrico, a relutância magnética em circuitos magnéticos é análoga à resistência elétrica. A relutância magnética é uma medida de oposição que um meio oferece ao estabelecimento e concentração das linhas de campo magnético [15], esta é expressa através de:

$$\mathcal{R} = l / (\mu \times s) \quad (4)$$

Onde \mathcal{R} é a relutância (A/Wb), μ é a permeabilidade absoluta (H/m), l é o comprimento (m) e s é a seção (m^2).

Para o cálculo das relutâncias e o esquema de rede de relutâncias, foi analisada um quarto da engrenagem magnética coaxial, definida por um par de polos do rotor interno explorando-se assim a simetria polar da geometria. Essa fração foi estudada na forma planar, para facilitar a aproximação do modelo, como mostrado na Figura 4. A engrenagem magnética possui ainda simetria cilíndrica e como tal é utilizada uma abordagem a duas dimensões, sendo a terceira dimensão a dimensão axial, na qual se admite que, a menos de efeitos de extremidades, não há alteração das grandezas magnéticas.

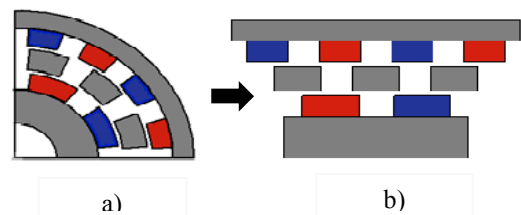


Fig. 4. Parte da engrenagem estudada. a) modelo concêntrico; b) modelo planar.

Através do modelo planar de uma parte da engrenagem magnética, foi esquematizado um circuito magnético, para mostrar de forma simples uma rede de relutâncias. Como pode ser observado na Figura 4 (b), a um par de polo de ímãs permanentes no rotor interno, correspondem três peças de ferro do anel estacionário e dois pares de polos de ímãs no rotor externo. A Figura 5 representa a rede de relutâncias e ilustra como os ímãs foram analisados para os cálculos.

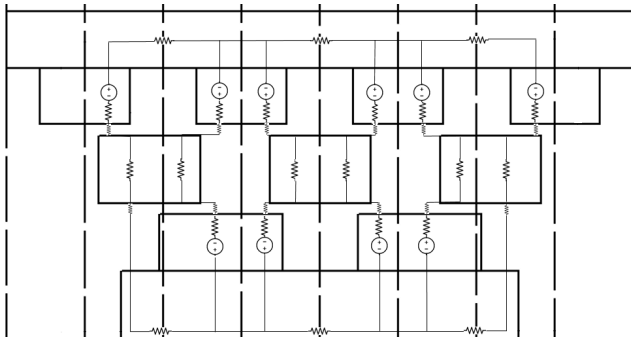


Figure 5- Rede de Relutâncias.

A Figura 5 foi simplificada para facilitar a visualização do circuito e os cálculos dos fluxos nas diferentes malhas, conforme mostrado na Figura 6.

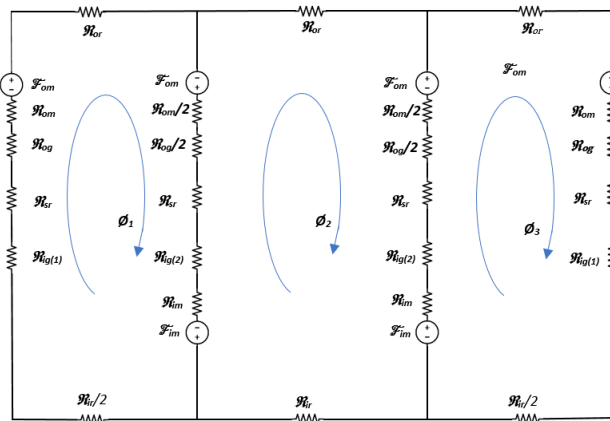


Fig. 6. Circuito magnético equivalente.

Devido à quantidade de forças magnetomotrizes presentes no circuito, foi necessário utilizar a lei das malhas de circuitos elétricos para os cálculos. A lei das malhas é muito utilizada quando há mais de uma fonte de tensão, que neste caso são os ímãs permanentes. No circuito em estudo, observa-se que as fontes de tensão (ímãs) estão em série com as relutâncias, podendo ser aplicado o equivalente de Thévenin para ímãs, onde a equação é mostrada abaixo:

Com os resultados obtidos foi calculado o fluxo que percorre cada malha, a fim de utilizá-lo no cálculo do torque transmitido.

C. Cálculo do torque

O torque pode ser calculado através da relação do tensor de Maxwell, cuja formulação transcende o objetivo deste trabalho, sendo apenas utilizada a formulação proposta em [16]:

$$t = (\theta_g \times r_{ig}) / \mu_0 \quad (5)$$

onde o fluxo magnético θ_g é calculado por a $\theta_1 - \theta_2$, ou seja, o fluxo magnético que percorre a malha 1 menos o fluxo que percorre a malha 2 e r_{ig} é o raio do entreferro interno, ou seja, o raio médio entre os ímãs permanentes do rotor interno e as peças de ferro macio.

O valor encontrado para o torque através da equação 3 foi de 15,55 N.m, porém esse valor corresponde a um quarto da engrenagem magnética, ou seja, para que corresponda ao torque transmitido pela engrenagem magnética inteira, este valor deve ser multiplicado por 4. O torque transmitido pela engrenagem magnética em estudo seria aproximadamente 62,2 N.m.

V. CONCLUSÃO

Foram apresentadas neste projeto as características magnéticas dos ímãs permanentes e sua utilização em engrenagens magnéticas. Destacou-se a tipologia de engrenagem magnética coaxial, para a qual se realizou o estudo analítico de uma engrenagem magnética com relação de transmissão 1:2. Foram feitos cálculos de dimensionamento da engrenagem, como quantidade de polos de ímãs, quantidade de peças de ferro macio, distância entre eles, o tamanho do entreferro e também foram realizados cálculos de natureza eletromagnética, como o cálculo das relutâncias, o fluxo magnético e o torque gerado pela engrenagem.

O valor do torque obtido traduz aquele que pode ser transmitido pela engrenagem magnética em estudo e que completa assim o objetivo inicial, que era modelar o funcionamento dos ímãs permanentes numa engrenagem magnética.

REFERÊNCIAS

- [1] Â. P. Ferreira and A. F. Costa, "Materiais magnéticos permanentes," *Egitania Sci.*, pp. 5–28, 2011.
- [2] J. D. Angelo, "Estudo das propriedades e microestrutura de ímãs permanentes de terras raras e metais de transição preparados pelo processo de decretação por hidrogênio," Universidade de São Paulo, 2005.
- [3] A. F. da S. Júnior, "Simulações por monte carlo e recozimento simulado de paredes de domínio em ferromagnetos e vidros de spin," Universidade Federal Fluminense, 2016.
- [4] M. Filippini and P. Alotto, "Coaxial magnetic gears design and optimization," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 46, no. c, pp. 1–1, 2017.
- [5] K. Atallah, S. D. Calverley, and D. Howe, "Design, analysis and realisation of a high-performance magnetic gear," *IEE Proceedings-Electric Power Appl.*, vol. 151, no. 2, pp. 135–143, 2004.
- [6] J. Rens, K. Atallah, S. D. Calverley, and D. Howe, "A novel magnetic harmonic gear," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 46, no. 1, pp. 206–212, 2010.
- [7] L. Jian and K.-T. Chau, "Analytical Calculation of Magnetic Field Distribution in Coaxial Magnetic Gears," *Prog. Electromagn. Res.*, vol. 92, pp. 1–16, 2009.
- [8] G. Jungmayr, J. Loeffler, B. Winter, F. Jeske, and W. Amrhein, "Magnetic gear: Radial force, cogging torque, skewing, and optimization," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 52, no. 5, pp. 3822–3830, 2016.
- [9] L. Jian, K. T. Chau, W. Li, and J. Li, "A novel coaxial magnetic gear using bulk HTS for industrial applications," *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, vol. 20, no. 3, pp. 981–984, 2010.
- [10] M. Fukuoka, K. Nakamura, and O. Ichinokura, "Dynamic analysis of planetary-type magnetic gear based on reluctance network analysis," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 47, no. 10, pp. 2414–2417, 2011.
- [11] "Thin and Ultra-Thin Silicon Steels." [Online]. Available: <http://www.arnoldmagnetics.com/precision-thin-meta>. [Accessed: 06-Aug-2017].
- [12] J. Yonnet, S. Hemmerlin, E. Rulliere, and G. Lemarquand, "Analytical calculation of permanent magnet couplings - Magnetics, IEEE Transactions on," vol. 29, no. 6, pp. 2932–2934, 1993.

- [13] Â. Ferreira, "Projecto de uma Máquina de Ímanes Permanentes de Fluxo Axial Orientado para os Sistemas de Conversão de Energia Eólica," Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2011.
- [14] X. Yin, P. D. Pfister, and Y. Fang, "A Novel Magnetic Gear: Toward a Higher Torque Density," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 51, no. 11, pp. 1–4, 2015.
- [15] C. A. Petry, "Campos Magnéticos, Densidade de Fluxo, Permeabilidade e Relutância," 2007. [Online]. Available: <http://professorpetry.com.br/Ensino/Repositorio/Do>. [Accessed: 01-Sep-2017].
- [16] L. Jian and K. T. Chau, "A coaxial magnetic gear with halbach permanent-magnet arrays," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 25, no. 2, pp. 319–328, 2010.

O uso da lacunaridade para identificação de variação de rugosidade em superfícies metálicas via imagens de padrões de speckle

1st Marina Ribeiro Barros Dias

Programa de Pós-Graduação em Eng. Metalúrgica
Escola de Eng. Industrial e Metalúrgica de Volta Redonda
Instituto de Ciências Exatas
Universidade Federal Fluminense
Volta Redonda - RJ, Brasil
marinaribeiro@id.uff.br

2nd Daniel Dornelas

Instituto de Ciências Exatas
Universidade Federal Fluminense
Volta Redonda - RJ, Brasil
dornelasdaniel@id.uff.br

3rd José Augusto Oliveira Huguenin

Instituto de Ciências Exatas
Universidade Federal Fluminense
Volta Redonda - RJ, Brasil
jose_huguenin@id.uff.br

4th Wagner Franklin Balthazar

Inst. Fed. de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro
Volta Redonda - RJ, Brasil
wagner.balthazar@ifrj.edu.br

5th Ladário da Silva

Programa de Pós-Graduação em Eng. Metalúrgica
Escola de Eng. Industrial e Metalúrgica de Volta Redonda
Instituto de Ciências Exatas
Universidade Federal Fluminense
Volta Redonda - RJ, Brasil
ladariosilva@id.uff.br

Resumo—Este trabalho investiga uma nova técnica para a análise de superfícies metálicas via imagens digitais de padrões de speckle. Tal técnica consiste na utilização do parâmetro lacunaridade para a medição indireta da rugosidade de superfícies metálicas em repouso e da detecção de variações de rugosidade e defeitos da superfície, estando a amostra em movimento. As imagens geradas pelos padrões de speckle revelam informações sobre a superfície, especialmente quando as mesmas são iluminadas por um laser. Elas foram capturadas por uma câmera CCD e tratadas como um conjunto de matrizes. Foi possível mostrar que a lacunaridade é sensível à variação de rugosidade da superfície, sendo capaz de detectar mudanças de rugosidade em superfícies metálicas, estejam elas em repouso ou em movimento. Os resultados obtidos, ainda que provas de princípio, sugerem a concepção um novo processo para medidas de rugosidade e detecção de variação de rugosidade ou defeitos de superfícies metálicas em movimento.

Index Terms—Imagens digitais, Differential Box Counting, processamento de imagens.

I. INTRODUÇÃO

A medição de rugosidade consiste no cálculo das imperfeições de uma superfície, sejam elas causadas por uso contínuo, por desgaste natural, ou pelo próprio processo de fabricação no qual a superfície foi gerada. Propor métodos

Os autores agradecem às agências: Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) pelo Microscópio Confocal, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de IC do autor Daniel Dornelas (314685/2009-0), Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) pela concessão E26/110.655/2013 e a Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação (PROPPI) da Universidade Federal Fluminense pelas concessões PROPPI FORA DE SEDE 2014 e FOPIN 2015. Por fim, os autores agradecem às alunas Marcella Mateus de Mello e Marcelle Rodrigues Lemos pela preparação metalográfica das amostras.

para realizar tal medição pode auxiliar, por exemplo, o setor industrial, onde é preciso estabelecer o desgaste de uma peça ou realizar o controle de qualidade de um produto. Entretanto, alguns inconvenientes, como o custo elevado dos equipamentos, a necessidade de condições especiais do ambiente e/ou da peça ou o risco de danos à superfície, podem seurir para dificultar esta medição.

Com o objetivo de driblar tais problemas, novas técnicas para se calcular parâmetros de rugosidade tem sido desenvolvidas e tem apresentado índices numéricos que procuram expressar de forma mais prática e quantitativa a rugosidade das superfícies. Estes novos métodos podem ser classificados como métodos indiretos e podem fazer uso de recursos computacionais e ópticos para analisar uma imagem digital obtida a partir da superfície. Entre as vantagens destes métodos estão o fato de que não é preciso manter contato com a superfície a ser examinada (portanto, a mesma não é danificada); o baixo custo relativo, pois as ferramentas utilizadas não requerem grandes investimentos, quando comparados aos rugosímetros de bancada e microscópios confocal, e a possibilidade de utilização em campo, pois computadores, emissores de laser e câmeras podem ser empregadas em ambientes comuns na indústria ou qualquer outro segmento.

Para o cálculo da rugosidade, entre as várias técnicas que usam métodos indiretos baseados em padrões de speckle destacam-se a análise dos contrastes [1], o estudo da razão entre as áreas claras e escuras [2], utilização do expoente de Hurst [3], [4] e da segmentação da imagem usando a estatística de Tsallis [5]. Esses trabalhos apresentaram resultados significativos para o estabelecimento de novos métodos para medida indireta de rugosidade. Lung et al. [6] demonstrou que existe

uma relação entre a rugosidade e a dimensão fractal de uma superfície e, desde então, análise fractal tem sido aplicada para caracterizar a rugosidade de uma superfície. Nos últimos anos, trabalhos publicados tem feito uso das imagens digitais de padrões de speckle (e não das imagens da superfície) para caracterizar a rugosidade de superfícies [1]–[3], [5], [7]. Em particular o uso de dimensão fractal [7] sugere a aplicação de outros parâmetros comuns à análise fractal. Por exemplo, a lacunaridade de imagens de superfícies, e não de padrões de speckle, tem sido usada para caracterização de superfícies [8], [9].

Para a realização de análises desse tipo faz-se necessária a captura e posterior processamento de imagens das superfícies, além da escolha de modelos matemáticos apropriados, pois estes podem interferir na eficácia das análises de dados.

As imagens digitais neste trabalho são codificadas em 8-bits, visualizadas, portanto, em 256 tons de cinza, e representadas por matrizes de tamanho $M \times N$, onde M e N representam as dimensões da imagem e suas entradas são, comumente, elementos em \mathbb{Z} . Dessas matrizes é possível extrair dados significativos para a determinação de parâmetros capazes de identificar propriedades de uma determinada região de interesse. Além disso, a exploração de suas propriedades ligadas ao caráter estatístico particular, vinculado à fractalidade, como por exemplo a lacunaridade [10], [11] se mostra bastante eficiente na análise de texturas de imagens [8], [12], sendo utilizada também para identificar padrões na imagem digital do padrão de speckle [13].

A técnica proposta se destaca, entre outros fatores, por ser uma técnica indireta, que não exige o contato com a superfície analisada. Sua relevância se justifica pela possibilidade de realizar medições em superfícies de difícil alcance ou peças que estão contaminadas, caso bem recorrente em processos industriais. Acrescenta-se a isso a possibilidade de medição da peça em movimento, que permitiria o uso da técnica numa linha de produção.

II. LACUNARIDADE

Segundo Mandelbrot [14], a geometria fractal pode ser entendida a geometria de objetos cujas formas (geométricas) parecem ser caóticas, porém são perfeitamente ordenadas. Nesta geometria, os objetos que nela se encaixam possuem a propriedade de serem autossimilares, ou seja, cada uma de suas partes é uma redução do todo, com a mesma redução em todas as direções. Lacunaridade, dimensão fractal, e sucolaridade são parâmetros descritos nesta Geometria sendo que, neste estudo, será considerado apenas o primeiro.

A lacunaridade é uma medida fractal que se relaciona com a distribuição e tamanho dos espaços vazios de um fractal. Mandelbrot [14] introduziu este conceito como uma medida que avalia a distribuição de tamanhos de lacunas de um objeto fractal. Se um fractal apresenta grandes vazios, ou buracos, ele será mais heterogêneo e terá alta lacunaridade. Caso contrário, ele é um fractal mais homogêneo, com lacunaridade baixa.

A escala a ser observada pode influenciar o cálculo da lacunaridade, pois há padrões que são homogêneos numa

escala pequena, porém são bastante heterogêneos numa escala grande, e vice-versa. Isso significa que, em uma dada escala, baixa lacunaridade pode significar que a distribuição de vazios em uma textura é bastante homogênea, fazendo com que essa imagem se aproxime de uma estrutura translacionalmente invariante. Por outro lado, alta lacunaridade implica uma heterogeneidade geométrica do objeto.

A análise de texturas em imagens para reconhecimento de padrões é uma das áreas onde a lacunaridade tem sido utilizada [8], [9], podendo ser aplicada também para análises de imagens de satélite [12].

Allain e Cloitre [15] definiram a lacunaridade $\Lambda(r)$, para uma dada escala r , como

$$\Lambda(r) = \frac{\sum_M M^2 Q(M, r)}{\left[\sum_M M Q(M, r) \right]^2}, \quad (1)$$

onde $Q(M, r)$ é a distribuição de probabilidade da massa M .

Isso significa que a lacunaridade, na escala r , é definida como o desvio médio quadrático da razão entre o primeiro e o segundo momento da distribuição Q , ou seja,

$$\Lambda(r) = \frac{Z_Q^{(2)}(r)}{[Z_Q^{(1)}(r)]^2} = \frac{M_2^2(r) + \overline{M(r)}^2}{\overline{M(r)}^2} = \frac{M_2^2(r)}{\overline{M(r)}^2} + 1, \quad (2)$$

onde $Z_Q^{(i)} = \sum_M M^i Q(M, r)$, com $i = 1, 2$, são os momentos

da distribuição $Q(M, r)$. $\overline{M(r)}$ e $M_2^2(r)$ são, respectivamente, a média e a variância de $M(r)$. Para encontrar o valor da lacunaridade, este cálculo se repete para cada escolha de escala r e um valor médio é obtido.

Os métodos computacionais que calculam lacunaridade se diferem, basicamente, pela maneira na qual calculam sua distribuição de massa [8], [15]. Neste estudo será utilizado o método Differential Box Counting (DBC) [16] adotando $M(r) = N_r$, onde N_r é calculado como segue.

Considere que uma imagem de $M \times M$ pixels foi particionada em uma malha de tamanho $s \times s$, na escala $r = \frac{s}{M}$. Se G é o número total de níveis de cinza considerados, então temos que $\frac{G}{s'} = \frac{M}{s}$. Para cada quadrado da malha constrói-se uma caixa de tamanho $s \times s \times s'$.

Fixada uma caixa, determinam-se todas as intensidades para cada posição (i, j) (em escala de cinza - eixo z). Assume-se como l a maior delas, e como k , a menor delas. Assim, a contribuição dessa caixa é dada no método DBC por $n_r(i, j)$, sendo a contribuição da malha (i, j) na caixa fixada, calculada por

$$n_r(i, j) = l - k + 1. \quad (3)$$

Levando em conta todas as caixas da malha, calculamos a contribuição total, dada por

$$N_r = \sum_{i,j=1}^s n_r(i, j). \quad (4)$$

Considerando a quantidade $M(r) = N_r$ descrita pelo método DBC, o algoritmo proposto por Karperien [17] implementa o cálculo da lacunaridade e se baseia no cálculo da grandeza, que é uma forma de lacunaridade, definida por:

$$\lambda(r, g) = \left(\frac{\sigma}{\mu} \right)_{r,g}^2, \quad (5)$$

onde σ é o desvio padrão e μ é a média de pixels por caixa de tamanho r (escala) numa determinada orientação g . Isso significa que para cada escolha de r e g , um valor de λ é calculado.

Ao final, uma média desses valores é apresentada como valor da Lacunaridade, ou seja,

$$\Lambda = \langle \lambda(r, g) \rangle_{r,g}. \quad (6)$$

III. OS PADRÕES DE SPECKLE

Quando iluminamos uma superfície com um feixe de luz laser, cada ponto dela atua como um emissor de pequenas ondas secundárias. Numa superfície rugosa, com os centros espalhadores distribuídos ao acaso, essas ondas são espalhadas de maneira aleatória e gera-se uma imagem resultante com vários pontos (ou grânulos) de intensidades luminosas diferentes. Aos grânulos gerados pelo espalhamento deu-se o nome de *speckle* [18]. As diferentes intensidades observadas devem-se às diferenças de fase dos caminhos ópticos percorridos pela luz espalhada e, devido a interferências, forma-se um padrão de speckle, gerado pela área iluminada. Este padrão é formado por pontos com intensidades variando de zero até um valor máximo, que representa a interferência construtiva. Observa-se, portanto, que é uma variação contínua e não discreta das intensidades e também não obedece a um padrão específico, tendo em vista a característica randômica da rugosidade da superfície [4].

Uma vez emitida a luz sobre a superfície metálica rugosa, é possível a obtenção da imagem digital de seu padrão de speckle, capturada através de um dispositivo de carga acoplada, ou CCD, e um sistema de processamento. O CCD é um sensor semiconductor para a captação de imagens e deve ser posicionado na direção normal ou especular. Em nosso trabalho usa-se a posição normal à superfície. Além disso, as imagens podem ser capturadas tanto no plano imagem (com a captura feita através de uma lente) quanto no plano de difração (sem interferência de uma lente). Para este estudo todas as imagens foram captadas no plano de difração, através de uma câmera CCD.

IV. MATERIAIS E MÉTODOS

O material caracterizado consiste em oito amostras de alumínio comercial. Sete delas possuem tamanho 2×3 cm e foram preparadas com lixas de diferentes granulometrias (120, 220, 360, 400, 600, 2000 e 2500). Todas as amostras foram polidas com a lixa mais grossa (120 mesh) e uma delas foi separada e nomeada como “120 mesh”. Em seguida, as seis amostras restantes foram polidas com a lixa 220 mesh onde, da mesma forma, uma delas foi separada e nomeada como “220

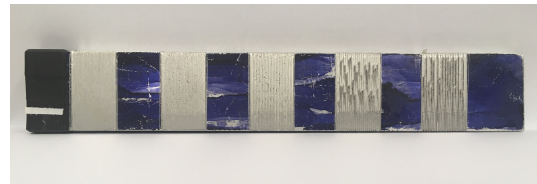


Figura 1. Amostra real, colocada em movimento.

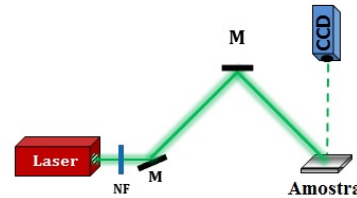


Figura 2. Esquema experimental do laser incidindo sobre a superfície em repouso.

mesh”. O processo foi feito até serem obtidas as amostras “360 mesh”, “400 mesh”, “600 mesh”, “2000 mesh” e “2500 mesh”. As respectivas rugosidades médias (R_a) foram medidas utilizando um Microscópio Confocal Leica[®] DCM3D. A oitava amostra possui dimensões $24\text{cm} \times 3,8\text{cm} \times 1\text{cm}$ e foi preparada pela empresa Elevolt a fim de obter faixas de 2,2cm com diferentes rugosidades (Fig. 1).

As rugosidades em cada faixa são distintas e alternadas, ou seja, se a faixa k possui “grande” rugosidade, as faixas $k-1$ e $k+1$ possuem uma rugosidade menor, e chamaremos, simplificada, de “lisa”, entendendo-se que tais faixas não passaram por nenhum processo para produção controlada de rugosidade. As faixas ditas “lisas” foram pintadas com tinta escura, diminuindo sua rugosidade, e também contém riscos e desgastes por uso. As demais faixas estão em sua cor natural (Fig. 1).

Para a obtenção dos dados foram realizados dois experimentos: o primeiro deles (Experimento 1), consiste na obtenção dos padrões de speckle das 7 amostras que ficarão em repouso. O segundo (Experimento 2) foi realizado com a oitava amostra, com ela em movimento.

A. Descrição do Experimento 1

Cada uma das sete amostras foi fixada em um suporte e iluminadas por um feixe de laser incidindo na superfície da amostra sob um ângulo de 45° , com a ajuda de espelhos. A luz propagada na direção normal foi capturada por uma câmera CCD monocromática, com resolução de 1204×728 pixels, no plano de difração. A imagem obtida representa o padrão de speckle da amostra e foi armazenada para posterior processamento. O experimento foi reproduzido duas vezes: com laser verde (no caso, 532 nm) e com laser vermelho (650 nm). A intensidade do laser foi ajustada a fim de não haver saturação do sensor da câmera e espelhos foram utilizados para direcionar o feixe, de forma a garantir o ângulo de incidência de 45° . A Fig. 2 ilustra o esquema do Experimento 1.

B. Descrição do Experimento 2

Para a movimentação da barra foi utilizado um equipamento que possui um motor DC (motor de corrente contínua) e um controlador que permite que o motor se desloque em velocidade constante. Para o experimento realizado foi utilizada a velocidade $v = 0,23\text{cm/s}$. A este equipamento foi acoplado um suporte para fixar a amostra, que foi colocada em movimento. Devido ao tamanho do equipamento, apenas 17 cm da barra foi medida.

O feixe de laser incidiu na amostra da mesma forma como descrito no Experimento 1, com a distinção de que, como a amostra se movimenta, o feixe incide sobre vários pontos da amostra. Entretanto, neste experimento a captação da imagem do padrão de speckle ocorreu com a gravação de um vídeo, a uma taxa de 30 fps. Neste formato, a imagem produzida tem tamanho 720×480 pixels. Após a finalização do experimento, imagens foram extraídas do filme, obtendo portanto imagens digitais de padrão de speckle que foram associadas a uma posição da amostra.

C. Captura e processamento das imagens

As imagens de ambos os experimentos foram processadas num computador com processador Intel Core i7, com 16Gb RAM de memória, no qual o software Image J[®] estava instalado. No Experimento 1, as imagens digitais dos padrões de speckle foram obtidas no momento da realização do mesmo. No Experimento 2 obteve-se um vídeo, e portanto, utilizou-se o software VirtualDub[®] para extrair as imagens (cerca de 2211 imagens). O parâmetro lacunaridade foi obtido pelo plugin Fraclac[®], no software ImageJ[®]. Foram usadas imagens com 8-bits em escala de tons de cinza e, para o cálculo da lacunaridade, o método DBC foi usado com 12 escalas (r) e 100 orientações (g). O tempo de processamento de cada imagem é cerca de 1,3 minutos. Para 2114 imagens, o tempo total de processamento foi estimado em 48 horas.

V. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em relação ao Experimento 1, com as amostras em repouso, foi estudada a relação entre a lacunaridade Λ do padrão de speckle como função da rugosidade. A Fig. 3 apresenta as imagens digitais dos padrões de speckle de todas as amostras obtidas pelo laser verde e pelo laser vermelho. É possível observar que, em ambos os casos, a distribuição da intensidade é sensível à rugosidade de cada amostra, visto que a distribuição mais intensa refere-se à superfície mais rugosa ($R_a = 1.34 \mu\text{m}$), enquanto que a imagem menos iluminada é produzida pela amostra menos rugosa ($R_a = 0.36 \mu\text{m}$). Note ainda que o comportamento é similar para o laser verde (3a) e o laser vermelho (3b), havendo a diferença de que o primeiro produz um padrão de speckle mais iluminado, quando comparado aos padrões de speckle produzidos pelo segundo. Isto ocorre devido ao fato de que o espalhamento depende do comprimento de onda. Além disso, superfícies de alumínio refletem mais na faixa do verde (532 nm) do que na faixa do vermelho (no nosso caso, 650 nm), o que contribui para

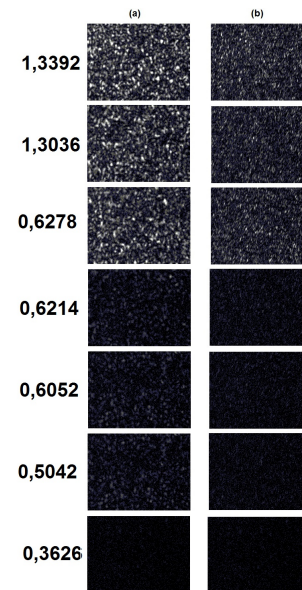


Figura 3. Padrões de speckle gerados (a) por laser verde e (b) por laser vermelho, das superfícies rugosas com diferentes rugosidades (R_a). A rugosidade R_a de cada imagem está ilustrada à esquerda.

uma maior luminosidade do padrão de speckle produzido pelo laser verde, em comparação ao produzido pelo laser vermelho, de mesma intensidade.

Este resultado está de acordo com estudos anteriores [1], [7]. O espalhamento na direção normal é mais acentuado em superfícies rugosas para laser com ambos os comprimentos de onda. Os padrões de speckle apresentados na Fig. 3 foram usados para o cálculo da lacunaridade. O resultado para a Lacunaridade Λ como função da rugosidade é mostrado na Fig. 4, onde é possível perceber claramente a dependência entre os parâmetros lacunaridade e rugosidade, em ambos os lasers. É possível observar que, apesar dos resultados, independente do comprimento de onda do laser, apresentar comportamento parabólico, há um deslocamento vertical de um para outro.

Um comportamento quadrático também foi observado para a dimensão fractal (D_f) apresentado em [7]. Fazendo um ajuste quadrático para estimar uma curva para a Lacunaridade obteve-se $\Lambda_{vd}(R_a) = -0,1537R_a^2 + 0,2831R_a - 0.0072$ para o laser verde (linha sólida na Fig. 4), com alto grau de confiança ($R^2 = 0.9655$). O mesmo comportamento foi observado para o laser vermelho, onde a curva obtida foi $\Lambda_{vm}(R_a) = -0,1046R_a^2 + 0,1836R_a - 0.0418$, com $R^2 = 0.9287$ (linha tracejada na Fig. 4).

Observe que Λ_{vd} e Λ_{vm} apresentam resultados próximos para rugosidades baixas e uma maior diferença para rugosidades mais altas. Isto pode ser explicado pela diferença nos parâmetros de cada feixe de laser. O laser vermelho tem um formato elíptico e também uma grande divergência em comparação ao laser verde. Embora ambos tenham sido colocados num mesmo foco, eles iluminaram áreas da amostra levemente distintas, acentuando a diferença do padrão de speckle produzido pela amostra rugosa, onde os espalhadores

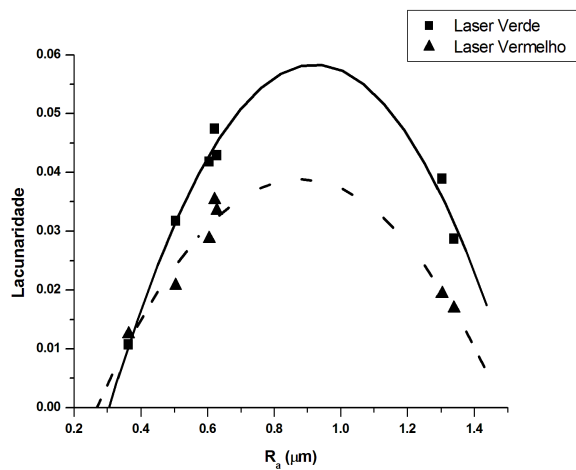


Figura 4. Lacunaridade, Λ , dos padrões de speckle em função da rugosidade R_a (μm).

associados com a rugosidade são maiores. Sendo assim, a condição de iluminação se torna um importante parâmetro para a análise da lacunaridade de padrões de speckle.

Seguindo este resultado, conclui-se que a Lacunaridade pode ser também explorada para investigar a rugosidade de uma superfície. A partir de uma curva de calibração produzida por um conjunto de rugosidades conhecidas, o padrão de speckle de uma superfície desconhecida pode ser produzido pelo mesmo aparato óptico do procedimento de calibração. Usando a curva de calibração, a rugosidade média R_a da superfície desconhecida pode ser obtida.

Entretanto, percebe-se que a não injetividade de uma função quadrática pode gerar dúvidas em relação ao valor da rugosidade, a partir de um valor de lacunaridade. Isto pode ser resolvido observando-se o brilho do padrão de speckle, visto que ele pode ser utilizado para decidir qual dos ramos da parábola pertence a lacunaridade obtida pelo padrão de speckle (mais luminosos, maiores rugosidades, e vice-versa). Então, usando a curva de calibração, torna-se possível descobrir a rugosidade da superfície. Vale observar que a medida de rugosidade da superfície obtida por este procedimento está limitada à faixa de rugosidade utilizada para a construção da curva de calibração, bem como às condições de iluminação em que os padrões de speckle foram gerados. Vale a pena mencionar também que, a fim de se obter um processo industrial e assegurar a exatidão do método, a curva de calibração deve ter um maior número de pontos.

Em relação aos resultados obtidos com a amostra em movimento, a Fig. 5 mostra a lacunaridade Λ como função da posição da peça que foi iluminada. Cada ponto corresponde à lacunaridade do padrão de speckle produzido pela superfície, na posição iluminada pelo feixe de laser verde.

Como pode ser visto na Fig. 5, nas regiões da amostra cuja superfície não passou por nenhum processo industrial, o valor da lacunaridade é praticamente constante. Por outro lado, as regiões que foram preparadas com rugosidades maiores é

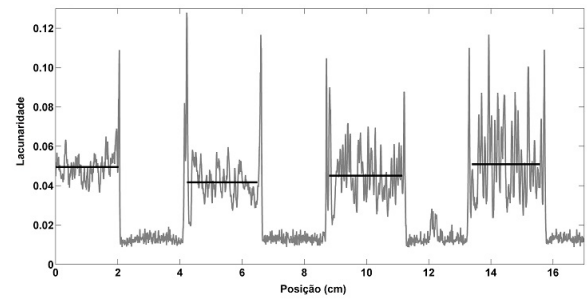


Figura 5. Lacunaridade, Λ , do padrão de speckle como função da posição (iluminada pelo feixe de laser verde).

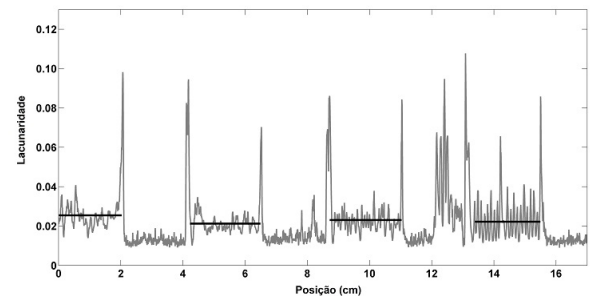


Figura 6. Lacunaridade, Λ , do padrão de speckle como função da posição (iluminada pelo feixe de laser vermelho).

possível observar uma mudança abrupta no valor da lacunaridade em resposta aos defeitos, ou seja, as variações produzidas na superfície rugosa. Observe também que o comprimento das regiões que contém os defeitos (rugosidades altas) estão de acordo com a real extensão das faixas da amostra, o que sugere, portanto, que este procedimento pode ser empregado no monitoramento da qualidade de superfícies rugosas.

De fato, é possível observar, ainda na Fig. 5, um pequeno pico na região próxima a 12cm (região sem processo industrial). Isto se deve a uma pequena ranhura nesta região da amostra. Além disso, o fato de que diferentes regiões possuem diferentes rugosidades pode ser observado através dos valores médios da lacunaridade $\bar{\Lambda}_{vd}$ de cada região (linhas horizontais), que variam dependendo da região. Isto sugere que, realizando uma calibração adequada do padrão de speckle para rugosidades conhecidas, a lacunaridade do padrão de speckle produzido com a superfície em movimento fornece, em princípio, de forma rápida, informação sobre a rugosidade da superfície movida.

O resultado para os padrões de speckle produzidos com laser vermelho estão ilustrados na Fig. 6. Um comportamento similar ao encontrado no experimento com laser verde pode ser observado. Note que as regiões que passaram por processos são claramente identificadas e a lacunaridade média $\bar{\Lambda}_{vm}$ (linhas horizontais) também sugerem uma resposta à variação de rugosidade, exceto na última região (a mais rugosa), onde Λ_{vm} apresentou muita flutuação.

Comparando os resultados de ambos os lasers (Fig. 7), é

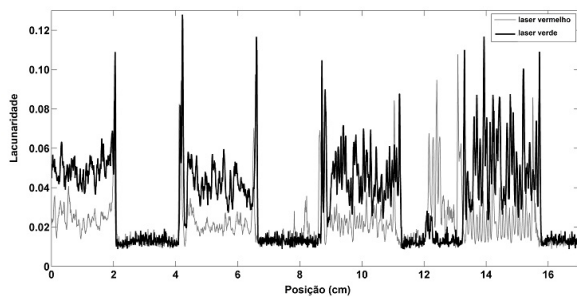


Figura 7. Comparação dos resultados obtidos com lasers verde e vermelho.

possível inferir que a lacunaridade é sensível à área iluminada. Para regiões entre 0 e 10cm, a resposta é praticamente a mesma para ambos os lasers, com Λ_{vm} abaixo de Λ_{vd} , o que está de acordo com o resultado estático. Para a região acima de 12 cm, a pequena ranhura na área sem processo industrial é mais acentuada com o laser vermelho, uma vez que ele possui feixe com maior área, perdendo a resolução. Por essa razão, infere-se que o tamanho do feixe de laser é um importante parâmetro a ser considerado e pode aumentar a exatidão do monitoramento pela lacunaridade do padrão de speckle.

VI. CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo mostram que a lacunaridade é sensível à rugosidade da superfície. Observou-se um comportamento quadrático da lacunaridade obtida de imagens digitais de padrões de speckle em relação à rugosidade da superfície metálica para ambos os comprimentos de onda, permitindo uma comparação com o estudo feito para dimensão fractal do padrão de speckle, também gerado por superfícies rugosas. A diferença entre as relações se encontra no sinal da concavidade (positiva para D_f e negativa para Λ)

Esta relação intrínseca entre a lacunaridade e a dimensão fractal reforça a robustez do estudo de superfícies rugosas com estas ferramentas. Foi apresentado também um estudo da lacunaridade do padrão de speckle de uma superfície metálica em movimento, onde foi possível identificar que a lacunaridade é também muito sensível aos defeitos ou variações de rugosidade, abrindo possibilidades de aplicação deste método no setor industrial. Ele pode, por exemplo, monitorar a qualidade do acabamento dado a uma superfície metálica, uma vez que detecta variações de rugosidade e defeitos. Além disso, com uma calibração adequada, em princípio, é possível construir um procedimento para medir a rugosidade de superfícies metálicas em movimento em uma indústria.

REFERÊNCIAS

- [1] SAMPAIO, A.L. et al. Hurst exponent determination for digital speckle patterns in roughness control of metallic surfaces. *Optics and Lasers in Engineering*, v. 49, p. 32–35, 2011.
- [2] MEIRELES, J.B. et al. Effect of metallic surface roughness on the speckle pattern formation at diffraction plane. *Optics and Lasers in Engineering*, v. 50, p. 1731–1734, 2012.
- [3] SOARES, H.C. Análise de Superfícies Metálicas em Movimento Utilizando o Expoent de Hurst. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Fluminense. Volta Redonda, RJ, 2012.
- [4] SOARES, H.C. et al. Hurst exponent analysis of moving metallic surfaces. *Physica A*, v. 392, p. 5307–5312, 2013.
- [5] SOARES, H. C. et al. Tsallis threshold analysis of digital speckle patterns generated by rough surfaces. *Physica A*, v. 432, p. 1–8, 2015.
- [6] LUNG, C. W. et al. Relation between fractal dimension and roughness index for fractal surfaces. *Physics Review E*, v. 60, n.5, p. 721–722, 1999.
- [7] CORRÊA, R. D. et al. Fractal structure of digital speckle patterns produced by rough surfaces. *Physica A*, v. 392, p. 869–874, 2013.
- [8] DONG, P. Test of a new lacunarity estimation method for image texture analysis. *Int. J. Remote Sens*, v. 21, n.17, p.3369–3373, 2000.
- [9] BACKERS, A.R. A new approach to estimate lacunarity of texture images. *Pattern Recognition Letters*, v. 34, p. 1455–1461, 2013.
- [10] MELO, R. J. C. Using Fractal Characteristics such as Fractal Dimension, Lacunarity and Succolarity to Characterize Texture Patterns on Images. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal Fluminense. Niterói, RJ, 2007.
- [11] ZORPETTE, G. Fractal: Not just another pretty picture. *IEEE Spectrum*, p. 29–31, 1988.
- [12] MYNT, S. W.; MESEV, V.; LAM, N. Urban Textural Analysis from Remote Sensor Data: Lacunarity measurements based on the Differential Box Counting. *Geographical Analysis*, v. 38, p. 371–390, 2006.
- [13] DIAS, M. R. B. et al. Lacunarity study of speckle patterns produced by rough surfaces. *Physica A*, 486, p. 328–336, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.physa.2017.05.022>
- [14] MANDELROT, B.B. Fractal geometry: what it is, and what does it do?. *Proc. R. Soc. Lond. A*, v. 423, p.3–16, 1989.
- [15] ALLAIN, C.; COITRE, M. Characterizing the lacunarity of random and deterministic fractal sets. *Phys. Rev. A*, v. 44, n.6, p. 3352–3358, 1991.
- [16] SARKAR, N.; CHAUDHURI, B. B. An efficient Differential Box-Counting approach to compute fractal dimension of image. *IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics*, v. 34, n.1, p. 115–120, jan/1994.
- [17] KARPERIEN, A. Defining Microglial Morphology: Form, Function, and Fractal Dimension. 2004. 247f. Dissertação (Master of Health Science (honours) research). Charles Sturt University, 2004.
- [18] GOODMAN, J. W. Some fundamental properties of speckle. *J. Opt. Soc. Am.*, v.66, p.1145, 1976.
- [19] KARPERIEN, A. FracLac for ImageJ. Disponível em: <http://rsb.info.nih.gov/ij/plugins/fracLac/FLHelp/Introduction.htm>. 1999-2013. Acesso em: abr. de 2018.
- [20] RASBAND, W. S., ImageJ, U. S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA. 1997-2014. Disponível em: <http://imagej.nih.gov/ij/>. Acesso em: jun de 2017.

Detecção de Variação de Rugosidade por Análise de Imagens Digitais de Padrões de Speckle via Entropia de Tsallis

1st Clarissa de Paula Dias

Instituto de Ciências Exatas
Universidade Federal Fluminense
Volta Redonda-RJ, Brasil
clarissadias@id.uff.br

2nd Marina Ribeiro Barros Dias

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica
Escola de Engenharia Industrial e Metalúrgica de Volta Redonda
Instituto de Ciências Exatas
Universidade Federal Fluminense
Volta Redonda-RJ, Brasil
marinaribeiro@id.uff.br

3rd Daniel Dornelas

Instituto de Ciências Exatas
Universidade Federal Fluminense
Volta Redonda-RJ, Brasil
dornelasdaniel@id.uff.br

4th José Augusto Oliveira Huguenin

Instituto de Ciências Exatas
Universidade Federal Fluminense
Volta Redonda-RJ, Brasil
jose_huguenin@id.uff.br

5th Ladário da Silva

Instituto de Ciências Exatas
Universidade Federal Fluminense
Volta Redonda-RJ, Brasil
ladariosilva@id.uff.br

Resumo—O objetivo deste trabalho é caracterizar variação de rugosidade de superfícies metálicas, estando estas em movimento, através da análise de padrões speckle produzidos pela incidência de laser com a utilização da segmentação entrópica, usando a Entropia de Tsallis. Tal entropia foi introduzida como uma generalização da entropia de Boltzmann-Gibbs-Shannon, onde um parâmetro de extensividade foi considerado. As imagens do padrão de speckle foram capturadas por uma câmera CCD e tratadas como um conjunto de matrizes. Foi possível identificar que os limiares ótimos obtidos pela Entropia de Tsallis são sensíveis à variação de rugosidade da superfície, sendo capaz de detectar mudanças de rugosidade em superfícies metálicas em movimento.

Index Terms—padrão de speckle; rugosidade; imagens digitais; segmentação entrópica; entropia de Tsallis.

I. INTRODUÇÃO

A caracterização de superfícies metálicas é uma questão importante no que se refere ao desenvolvimento de produtos e dispositivos em diferentes ramos da indústria. As micro irregularidades presentes definem a rugosidade, que é usada para caracterizar e monitorar, por exemplo, o acabamento de uma superfície. A medida ou avaliação de rugosidade é relevante para indústrias como a siderúrgica e automobilística, nos setores em que se faz imprescindível estabelecer o desgaste de uma peça ou realizar o controle de qualidade de um produto.

Os autores agradecem à Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) pelo Projeto E26/110.321/2012 e pela bolsa de IC da primeira autora, à Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação (PROPI) da Universidade Federal Fluminense (UFF) pelo Projeto 23069.004676/2014-97. O Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de Iniciação Científica (PIBIC) do terceiro autor.

Vários métodos foram desenvolvidos para determinar a rugosidade de uma superfície. Dentre eles se destacam os métodos ópticos que, sendo técnicas sem contato, são realizados sem causar danos à superfície analisada. Com isso, esses métodos são mais precisos [1] comparados aos métodos mecânicos.

Muitas destas técnicas têm sido desenvolvidas explorando o espalhamento de luz coerente em superfícies ásperas, o que dá origem ao speckle ou padrão de speckle [2]. O speckle, ou salpico, é composto por uma coleção de pontos de diferentes tons provocados pelo espalhamento aleatório da luz coerente (todas as ondas dos fótons que compõe o feixe estão em fase). Isto quer dizer que, ao iluminarmos uma superfície rugosa com luz laser, obtemos uma imagem, usando um anteparo, com diversos pontos com intensidades luminosas diferentes e aleatórias.

Essa diferença de intensidade se dá pelos caminhos ópticos distintos percorridos pela luz. Em cada ponto da região iluminada no anteparo chegam feixes espalhados de diferentes regiões da amostra. Assim, percebe-se o efeito de interferências, dentre elas as construtivas (diferença de fase é a mesma ou múltipla de 2π) e as destrutivas (diferença de fase é π ou múltipla de $(2n + 1)\pi$) [3]. Deste modo, o conjunto de pontos luminosos formam o que conhecemos como padrão de Speckle é composto por intensidades variando de zero, relativo à interferência destrutiva até um valor máximo que representa a interferência construtiva [2]. Superfícies distintas formam padrões de speckle distintos. Eles também dependem das condições de iluminação.

Com o avanço da tecnologia e a facilidade do acesso a computadores tornou-se possível o desenvolvimento de algoritmos

para processar imagens, tratadas como matrizes. Em particular, com o auxílio de potentes computadores, pode-se processar um número cada vez maior de imagens digitais de padrões de speckle, mesmo estas tendo dimensões altas.

A rugosidade, por sua vez, possui também uma característica aleatória, sugerindo o uso da estatística para a sua caracterização. O mesmo ocorre com os padrões de speckle [2]. Diversos trabalhos relacionam a rugosidade de uma superfície metálica com o padrão de speckle gerado pelo espalhamento de uma luz laser numa superfície. Em geral, avalia-se algum parâmetro estatístico obtido da imagem digital de padrões de speckle como por exemplo o expoente de Hurst [4], [5], a dimensão fractal [6] e a lacunaridade [7].

Em relação às imagens digitais, comumente torna-se necessário obter alguma informação das mesmas. Seja detectar uma pessoa, um rosto ou um sorriso em uma imagem de uma câmera, ou identificar caracteres em uma placa. Essa informação habitualmente se encontra em uma subregião da foto, ou seja, é um subconjunto da imagem digital que se analisa. Separar a imagem em dois conjuntos de forma que um deles possua a informação desejada e outro possua a informação que é dispensável, é uma tarefa importante e exige conhecimento computacional. Quando for possível realizar tal separação, diz-se que foi realizado uma segmentação de imagem. Entre as diversas técnicas de segmentação de imagens, existem aquelas que fazem uso de entropias para encontrar o valor que particionará a imagem em dois subgrupos. Essas técnicas são conhecidas como segmentação entrópica [8], ou seja, uma segmentação feita com base no conceito de entropia. No processo de segmentação entrópica para imagens em 8-bits, em tons de cinza, usualmente procura-se um valor de tom de cinza, chamado de limiar, que melhor separa a parte, ou seja, o objeto na imagem (informação desejada), do restante, chamado de fundo ou “background”. Esse limiar é obtido através da maximização de alguma entropia.

As imagens digitais de 8-bits são formadas por um conjunto de pixels, que constituem da menor parte desta imagem. Pode-se representar uma imagem digital na forma de uma matriz $M \times N$, onde M é número de pixels na horizontal, N é o número de pixels na vertical, e todas as entradas da matriz são elementos de \mathbb{Z} . Cada pixel de coordenada (x, y) , onde $0 \leq x \leq M$ e $0 \leq y \leq N$, possui uma intensidade dada por um número inteiro $0 \leq I(x, y) \leq 255$. Comumente 0 é associado à cor branca e 255 à cor preta.

Em 2004 foi proposto, pela primeira vez, um algoritmo usando a Entropia de Tsallis [9] para segmentação entrópica. A Entropia de Tsallis é uma proposta para generalizar a Entropia de Boltzmann-Gibbs, entropia tradicional para sistemas físicos extensivos. Tsallis [10] generalizou o conceito de Entropia para sistemas não-extensivos.

Em [11] foi proposto o uso da segmentação entrópica, usando entropia de Tsallis, aplicada a imagens digitais de padrões de speckle gerados por uma superfície metálica rugosa, para se medir a rugosidade de superfícies metálicas. Neste trabalho mostrou-se que o limiar obtido na segmentação com a Entropia de Tsallis, chamado de Limiar de Tsallis, é sensível

à rugosidade da superfície, sendo possível construir uma curva de calibração entre o Limiar de Tsallis e a Rugosidade Média R_a da superfície metálica.

O objetivo deste trabalho de pesquisa é avaliar se é possível detectar variações de rugosidades, em alguns casos percebidos por como defeitos, em superfícies metálicas em movimento usando a entropia de Tsallis para realizar a segmentação entrópica de imagens digitais de padrões de speckle produzidos pela incidência de luz laser vermelho $650nm$ nas superfícies metálicas.

II. PROCEDIMENTO

A fim de se obter imagens digitais de padrões de speckle, foi realizada uma montagem experimental no Laboratório de Óptica do Instituto de Ciências Exatas, localizado na Universidade Federal Fluminense. A amostra utilizada é composta de alumínio comercial e possui dimensões $17,0cm \times 3,8cm \times 1,0cm$, contendo faixas de aproximadamente $2,0cm$ de comprimento por $3,8cm$ de altura, com rugosidades distintas em cada faixa, produzidas pela empresa ELEVOLT (Fig. 1).

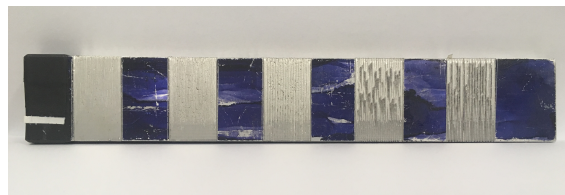


Figura 1. Amostra utilizada para obtenção dos dados.

A amostra foi fixada em um equipamento que possui um motor DC (motor de corrente contínua) e um controlador capaz de movimentá-la, simulando uma linha de produção, a uma velocidade de $0,23cm/s$ [11]. Em seguida, a superfície da amostra foi iluminada pela luz laser sob um ângulo de incidência de 45° , com ajuda de espelhos, a fim de produzir o padrão de speckle.

Para capturar o padrão de speckle foi montado sobre uma mesa óptica, um aparato com um laser de diodo de $650nm$ polarizado linearmente com $30mW$ de potência máxima, uma câmera CCD (*charged coupled device*), sem lente, para a captação do speckle diretamente no plano de difração e lentes colimadas posicionadas de maneira a construir um caminho óptico, como ilustrado na Fig. 2.

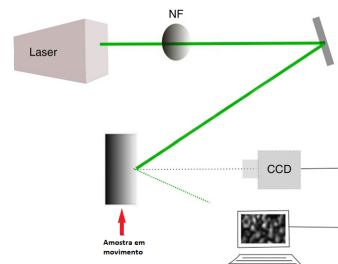


Figura 2. Esquema Experimental.

A iluminação pelo laser é feita nas regiões centrais da amostra e, para melhor controle da intensidade, é usado um filtro neutro com o objetivo de evitar a saturação na câmera [4]. O ângulo de incidência é mantido fixo durante todo o experimento em 45° . A luz espalhada na direção normal em relação a superfície metálica é captada pela câmera com 756×1024 pixels ligada a um computador por um conector USB e posicionada a uma distância de 10 cm da superfície da amostra. A luz, então, se propaga diretamente da superfície para o sensor da câmera extraindo assim, o padrão de speckle. Esse, por sua vez, é salvo em forma de vídeo devido a peça estar em movimento. O software usado para a aquisição do vídeo é o IC Capture[®], e foi utilizada uma taxa de 30 *fps* (frames por segundos). Com o software Virtual Dub[®] é possível extrair uma sequência de imagens proveniente do vídeo [7], totalizando 2000 imagens, que são tratadas através do processo de segmentação entrópica.

Para realizar a segmentação da imagem, a primeira etapa consiste na conversão de todas as imagens em matrizes cujos elementos são os respectivos valores dos tons de cinza. O software ImageJ[®] [12] é usado para essa conversão.

A próxima etapa consiste no cálculo do Limiar de Tsallis [9], que é feito através de um algoritmo codificado na linguagem C, a partir de um valor para q (parâmetro da entropia de Tsallis ajustado pelo usuário). Como saída do algoritmo obtém-se o Limiar de Tsallis para cada imagem (que está diretamente associada a uma posição na amostra), para cada valor de q .

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As Figs. 3 e 4 mostram o Limiar de Tsallis em função da posição da amostra que foi iluminada pelo laser de $650nm$, utilizando os parâmetros $q = 0,2$ e $q = 2$, respectivamente.

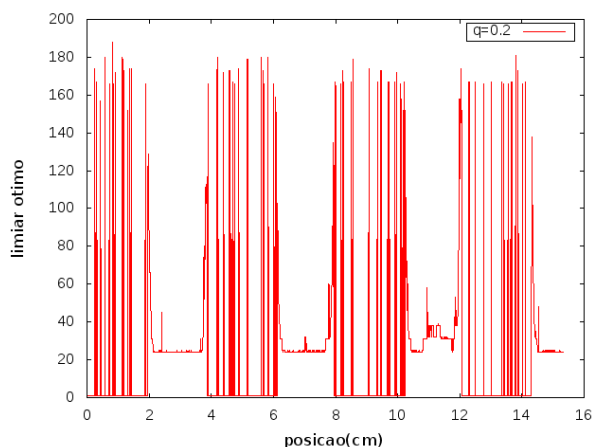


Figura 3. Limiar de Tsallis em função da posição da amostra com uso do laser de $650nm$ e $q = 0,2$

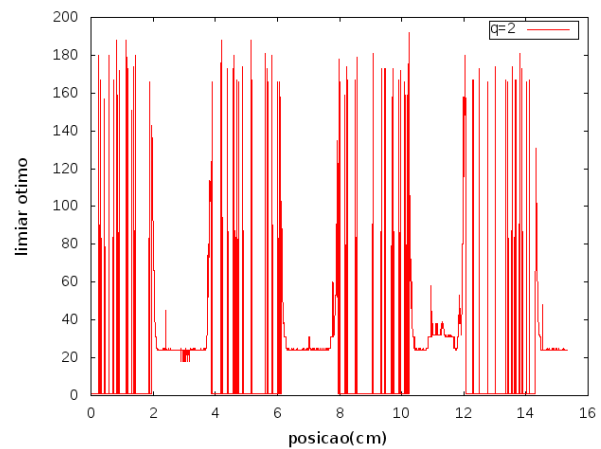


Figura 4. Limiar de Tsallis em função da posição da amostra com uso do laser de $650nm$ e $q=2$

Percebe-se que, para ambos os valores de q estudados, o limiar apresenta um valor baixo para a região lisa e flutua muito na região rugosa. Com isso, claramente conseguimos distinguir as duas regiões da amostra. Isso sugere que a flutuação do limiar pode ser um bom parâmetro para detecção de defeitos na amostra. Neste estágio da pesquisa, o parâmetro q parece ser pouco relevante.

IV. CONCLUSÕES

O laser vermelho detecta o limiar constante para regiões lisas e grande variação no limiar quando a região é rugosa na amostra. Estamos aprimorando os resultados e pretende-se variar o comprimento de onda repetindo o experimento com o laser verde com $\lambda = 532nm$ a fim de compará-los.

REFERÊNCIAS

- [1] MEIRELLES, J. B. et al., **Effect of metallic surface roughness on the speckle patterns formation at diffraction plane**, Opt. Lasers Eng. 50, 1731–1734 (2012). <http://dx.doi.org/10.1016/j.optlaseng.2012.07.009>
- [2] GOODMAN, J. W., **Some fundamental properties of speckle***, Journal of the Optical Society of America 66, 1145-1150 (1976). <https://doi.org/10.1364/JOSA.66.001145>
- [3] PASSOS, M., **Padrões de Speckle produzidos por Vórtices Óticos e sua Aplicação na Medida de Rugosidade**. Dissertação (Mestrado). Instituto de Ciências Exatas. Universidade Federal Fluminense. Rio de Janeiro, Brasil, 2016.
- [4] SOARES, H. C. et al., **Hurst exponent analysis of moving metallic surfaces**, Physica A 392, 5307–5312 (2013). <http://dx.doi.org/10.1016/j.physa.2013.07.005>
- [5] SAMPAIO, A. L. et al., **Hurst exponent determination for digital speckle patterns in roughness control of metallic surfaces**, Opt. Lasers Eng. 49, 1, 32-35 (2011). <http://dx.doi.org/10.1016/j.optlaseng.2010.09.005>
- [6] CORRÊA, R. D. et al., **Fractal structure of digital speckle patterns produced by rough surfaces**, Phys. A: Stat. Mech. and its Applications, 392: 4, 869-874 (2013) . <http://dx.doi.org/10.1016/j.physa.2012.10.023>
- [7] DIAS, M. R. B. et al., **Lacunarity study of speckle patterns produced by rough surfaces**, Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, Elsevier, vol. 486(C), 328-336 (2017). <https://doi.org/10.1016/j.physa.2017.05.022>
- [8] KAPUR, J. et al., **A new method for gray-level picture thresholding using the entropy of the histogram**, Comput. Vision Graphics Image Process. 29 273-285, (1985)
- [9] ALBUQUERQUE, M. P. et al., **Image thresholding using Tsallis entropy**, Pattern Recognit. Lett. 25, 1059-1065 (2004). <http://dx.doi.org/10.1016/j.patrec.2004.03.003>

- [10] TSALLIS, C., **Possible generalization of Boltzmann-Gibbs statistics**, J. Stat. Phys. v.52 N1-2, 479-487 (1998).
- [11] SOARES, H. C. et al., **Tsallis's Threshold Analysis of Digital Speckle Patterns Generated by Rough Surfaces**, Physica A 432, 1-8 (2015). <http://dx.doi.org/10.1016/j.physa.2015.02.100>.
- [12] **ImageJ**. Available at rsbweb.nih.gov/ij/ (acessado em 12/04/2018).

O uso do arduino no controle de experimentos de óptica

1st Carla C. Pinto

*Faculdade de Tecnologia - FAT
Universidade do Estado do
Rio de Janeiro
Resende-RJ, Brasil
carla.cpinto15@gmail.com*

2nd Heitor M. Souto

*Faculdade de Tecnologia - FAT
Universidade do Estado do
Rio de Janeiro
Resende-RJ, Brasil
heitormalaguti1496@gmail.com*

3rd Pedro Corrêa de A. Magalhães

*Faculdade de Tecnologia - FAT
Universidade do Estado do
Rio de Janeiro
Resende-RJ, Brasil
pedro.c.a.m@hotmail.com*

4th Silvânia A. Carvalho

*Escola de Engenharia Metalúrgica
de Volta Redonda - EEIMVR
Universidade Federal Fluminense
Volta Redonda, Brasil
silalves83@gmail.com*

5th Clifford N. Pinto

*Faculdade de Tecnologia - FAT
Universidade do Estado do
Rio de Janeiro
Resende-RJ, Brasil
clifford.neves@gmail.com*

6th Dionathan Knupp P. Souza

*Faculdade de Tecnologia - FAT
Universidade do Estado do
Rio de Janeiro
Resende-RJ, Brasil
dionathanknupp@hotmail.com*

7th Ladário da Silva

*Instituto de Ciências Exatas - ICEx
Universidade Federal Fluminense
Volta Redonda-RJ, Brasil
ladariosilva@id.uff.br*

8th Jose Augusto O. Huguenin

*Instituto de Ciências Exatas - ICEx
Universidade Federal Fluminense
Volta Redonda-RJ, Brasil
jose_huguenin@id.uff.br*

9th Stefano de Leo

*Instituto de Matemática, Estatística e
Computação Científica - IMECC
Universidade Estadual de Campinas
Campinas-SP, Brasil
deleo@ime.unicamp.br*

Resumo—Neste trabalho, apresentamos sistemas automatizados, baseados no microcontrolador arduino, que auxiliarão na caracterização do perfil de feixes gaussianos e na análise da superfície de peças metálicas para controle de qualidade em indústrias. Este estudo é de extrema importância devido ao fato de reduzir os erros humanos inseridos aleatoriamente em processos científicos e industriais. Além disso, o projeto foi montado com elementos de impressoras e leitores de CD e DVD descartados, o que nos levou a reaproveitar elementos como motores de corrente contínua e de passo, dentre outros elementos de eletrônica, com o intuito de reciclar materiais inutilizados e incentivar a preservação do meio ambiente.

Index Terms—arduino, experimentos de óptica, feixe gaussiano, padrão de speckle, superfícies metálicas, indústria e meio ambiente

I. INTRODUÇÃO

A caracterização do perfil gaussiano de um feixe laser visa a obtenção dos parâmetros do feixe, como por exemplo a cintura mínima w_0 e a sua localização z_0 [1]–[4], que influenciam na observação de fenômenos físicos em diversas áreas [2]–[4]. Na área de física atômica e molecular, comumente utilizamos feixes intensos para criar armadilhas de dipolo com o intuito de aprisionar átomos e, neste caso, a intensidade do feixe e o valor da cintura do feixe w_0 são fundamentais para controlar a armadilha [2]. Outra aplicação de física molecular é a análise

Agradecemos as agências de fomento pelo financiamento das bolsas referentes aos processos: IC/FAPERJ 2017/1 (Pedido 231092), IC/FAPERJ 2018/1 (Pedido 236700) e PIBIC/UERJ 2018-2020 (Pedido 13045).

de padrão de speckle proveniente da luz espalhada por nuvens atômicas, que fornece correlações do sistema atômico e levam ao estudo de fenômenos clássicos e quânticos [3]. Na óptica, o padrão de speckle produzido por modos transversais auxilia também no estudo da rugosidade de superfícies metálicas [4]. Consequentemente, os sistemas de automatização propostos neste trabalho visam a utilização do arduino [5] para controlar sistemas de caracterização de feixes gaussianos [6], [7] e analisar estruturas atômicas e de superfícies metálicas, com o intuito de fornecer informações dos processos com grande precisão e reprodutibilidade.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A. Feixe Gaussiano

No estudo de perfil de feixes gaussianos, a fundamentação teórica é baseada na equação de Helmholtz paraxial [1], [6] para a amplitude do campo

$$\left(c^2 \nabla^2 - \partial_t^2\right) \mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = 0, \quad (1)$$

que descreve a propagação de uma onda no espaço livre e que possui a solução gaussiana dada por

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = E_0 \exp[i(kz - \omega t)] \frac{w_0}{w(z)} \times \exp\left[-\frac{x^2 + y^2}{w^2(z)} + i\left(\frac{x^2 + y^2}{2R(z)} - \phi(z)\right)\right] \quad (2)$$

com o perfil do feixe $w(z)$, o raio de curvatura $R(z)$, a fase de Gouy $\phi(z)$ e a distância de Rayleigh z_R sendo

$$w(z) = w_0 \sqrt{1 + (z/z_R)^2}, \quad R(z) = z \left[1 + \left(\frac{z_R}{z} \right)^2 \right], \quad (3)$$

$$\phi(z) = \arctan \left[\frac{z}{z_R} \right] \quad e \quad z_R = kw_0^2/2, \quad (4)$$

onde $k = 2\pi/\lambda$ é o vetor de onda, z é a distância axial a partir da cintura do feixe e ω é a frequência angular (veja Fig. 1).

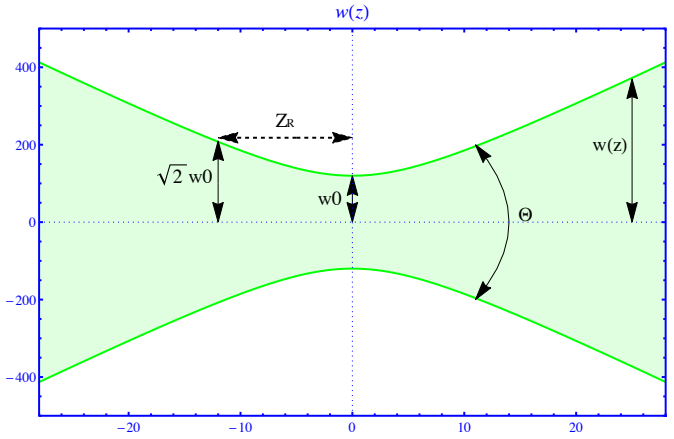


Figura 1. Perfil do feixe laser $w(z)$ em função de $z[cm]$, com $w_0[\mu m]$ sendo a cintura do feixe, z_R a distância de Rayleigh e $\Theta = 2\theta$ o espalhamento angular.

B. Padrão de Speckle

O estudo de padrão de speckle é baseado na análise de imagens produzidas a partir da luz espalhada por uma superfície. O padrão de speckle [8] consiste no fenômeno causado pela interferência de frentes de ondas eletromagnéticas após serem espalhadas por uma superfície, um vapor atômico ou um obstáculo que espalha a luz. A estrutura do padrão formada é similar a um conjunto de pontos claros e escuros que criam um efeito granulado na figura, devido à interferência construtiva e destrutiva presente em um experimento de interferência padrão. A imagem digital do padrão de speckle pode ser representada por uma matriz $m \times n$ cujos elementos estão associados à intensidade da luz espalhada $I(x, y)$, no intervalo de $0 \leq I(x, y) \leq 255$ (escala de tons de cinza), de cada pixel de coordenada (x, y) .

A análise do padrão de speckle, proveniente da luz espalhada por superfícies metálicas, pode ser realizada através de parâmetros como dimensão fractal [9], lacunaridade [10] e coeficiente de correlação [11]. Neste artigo, concentramos no parâmetro de correlação que fornecerá informações do sistema comparando as matrizes obtidas para diferentes configurações. O coeficiente de correlação (C) para duas imagens A e B é dado por [11]

$$C = \frac{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n (I_A - \bar{I}_A) (I_B - \bar{I}_B)}{\sqrt{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n (I_A - \bar{I}_A)^2 \cdot \sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n (I_B - \bar{I}_B)^2}}, \quad (5)$$

onde $I_A \equiv I(x, y)_A$ e $I_B \equiv I(x, y)_B$ referem-se as intensidades (na escala de tons de cinza) dos pixels de coordenadas (x, y) da matriz $m \times n$ para as imagens A e B, respectivamente, e \bar{I} é a intensidade média. A equação (5) fornecerá correlação entre as imagens A e B provenientes dos padrões de speckle para duas situações diferentes em uma mesma placa metálica. Estes valores poderão auxiliar no controle de qualidade de uma peça visto que este parâmetro poderá variar de 0 a 1, o que significa que as superfícies estão dentro do padrão de qualidade se o valor for próximo de 1, caso contrário, teremos um valor próximo de zero [12]–[14].

III. METODOLOGIA:

A. Análise do perfil gaussiano pelo teste de faca

A metodologia utilizada para investigar o perfil gaussiano de um feixe laser consistiu na análise da potência total do feixe dada por

$$\begin{aligned} P_{\text{total}}(\mathbf{r}) &= \int_{-\infty}^{+\infty} |\mathbf{E}(\mathbf{r}, t)|^2 dx dy \\ &= \frac{I_0 w_0^2}{w^2(z)} \int_{-\infty}^{+\infty} \exp \left[-2 \frac{x^2 + y^2}{w^2(z)} \right] dx dy \\ &= I_0 \frac{\pi}{2} w_0^2. \end{aligned} \quad (6)$$

onde $I_0 = |E_0|^2$. Esta potência é medida através de um fotodetector e uma lâmina corta o feixe fornecendo a razão

$$\frac{P_{\text{knife}}}{P_{\text{total}}} \rightarrow w(z) = \Delta y / 2a, \quad (7)$$

onde P_{knife} é a percentagem da potência que não é bloqueada pela lâmina e consegue chegar ao fotodetector. A solução analítica da razão acima fornece uma expressão que relaciona o perfil gaussiano $w(z)$ [6] com o fator a que assume os valores da tabela I. Neste caso, é possível perceber facilmente que,

Tabela I
VALORES DE PERCENTAGEM DO TESTE DE FACA PARA CARACTERIZAÇÃO DE FEIXES GAUSSIANOS.

Percentagem	Fator
2.28% – 97.73% :	$a = 1.00$
5% – 95% :	$a = 0.82$
10% – 90% :	$a = 0.64$
20% – 80% :	$a = 0.42$

para $a = 1$, obtemos exatamente o valor do perfil $w(z)$. O perfil de intensidade do feixe gaussiano da Fig. 2 ilustra os possíveis

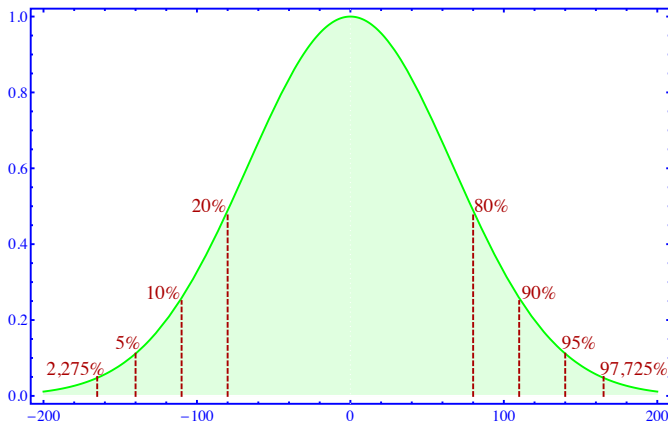


Figura 2. Perfil de intensidade ilustrando as percentagens usadas na caracterização de feixes gaussianos.

valores de percentagem usados na obtenção dos valores do fator de correção a .

Consequentemente, a partir dos valores de percentagem 2.28% – 97.73%, podemos obter o valor de $w(z)$ para diferentes valores de z e através da análise estatística dos dados experimentais extrair os valores de w_0 e z_0 , com seus respectivos erros como veremos a seguir.

B. Análise do padrão de speckle pelo ImageJ

A metodologia utilizada para analisar as imagens do padrão de speckle para diferentes configurações de uma superfície metálica é o uso do plugin de correlação do ImageJ. Este programa é gratuito e utiliza linguagem em Java para processamento de imagens. Ele possibilita a edição e análise das imagens e apresenta facilidade para salvar e imprimir em diversos formatos. O programa possui ferramentas voltadas à filtragem e processamento direto de imagens, tornando o procedimento simples. As diversas vantagens deste programa levaram ao uso do mesmo no tratamento de dados que possuem padrão speckle. No procedimento padrão, as imagens são selecionadas e o plugin de correlação compara a primeira imagem com as demais e verifica se as imagens estão correlacionadas, fornecendo um valor entre 0 (não correlacionadas) e 1 (correlacionadas).

Neste trabalho, almejamos substituir esta análise do ImageJ pelo uso do arduino, de modo que o programa controlará o número de imagens capturadas, transformará as imagens em matriz e, através da Eq.(5), fará a comparação entre as imagens forçando o valores de correlação entre as mesmas. Consideraremos os padrões de speckle provenientes de diferentes ângulos de incidência com o intuito de analisar chapas de aço de indústrias automobilísticas. Neste caso, diremos que uma peça está dentro do padrão de qualidade se o fato de correlação entre todas as imagens estiver próximo de 1.

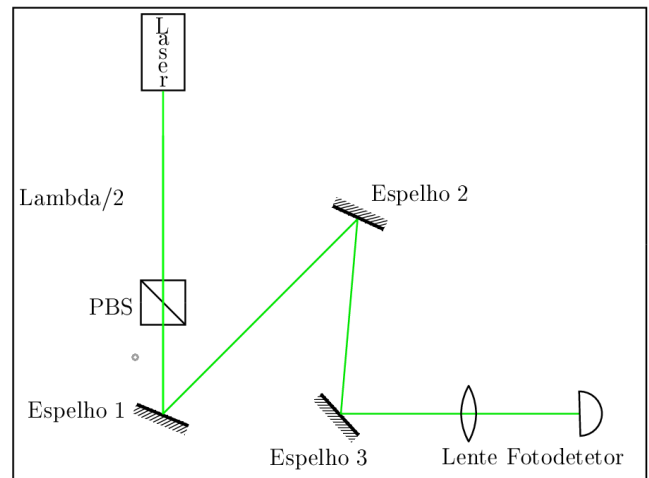


Figura 3. Aparato experimental utilizado na caracterização de feixes gaussianos, onde temos uma placa de meia onda $\lambda/2$, um cubo polarizador (PBS), três espelhos, uma lente de foco 50 cm e um fotodetector (experimento realizado no laboratório de Óptica do ICEx/UFF). A lâmina que bloqueou parcialmente o feixe não aparece na figura.

IV. AQUISIÇÃO E ANÁLISE DE DADOS

A. Valores característicos do perfil do feixe

Através da aplicação do teste de faca (percentagem 10% – 90%) ao longo do eixo z foi possível obter um conjunto de valores de $w(z)$ que nos auxiliou na caracterização de um feixe laser em 532nm. Estas medidas foram realizadas por meio do aparato experimental da Fig. 3. A aquisição de dados consistiu das seguintes etapas:

- Medida da separação Δy entre os pontos de potência 10% – 90%;
- Obtenção do valor de $w(z)$ a partir do valor de Δy e da Eq. (7);
- Estimativa dos valores de $w(z_i)$ para diferentes posições z_i ;
- Análise teórica de $w(z)$, Eq. (3), para dois (três) valores de z_i para a obtenção dos valores de z_0 (w_0) para cada conjunto de medidas;
- Análise numérica com o Mathematica Wolfram e as definições de média e desvio padrão para a obtenção do melhor valor para os parâmetros, como segue:

$$\{z_0, \sigma[z_0]\} = \left\{ \sum_{\ell=1}^N \frac{z_0^\ell}{N}, \sqrt{\sum_{\ell=1}^N \frac{(z_0^\ell - z_0)^2}{N-1}} \right\} \quad \text{e} \quad (8)$$

$$\{w_0, \sigma[w_0]\} = \left\{ \sum_{\ell=1}^N \frac{w_0^\ell}{N}, \sqrt{\sum_{\ell=1}^N \frac{(w_0^\ell - w_0)^2}{N-1}} \right\}; \quad (9)$$

Neste experimento tradicional obtivemos os valores $z_0 \pm \sigma[z_0] = (59 \pm 2) \text{ cm}$ e $w_0 \pm \sigma[w_0] = (93 \pm 2) \mu\text{m}$.

B. Valores característicos de correlação para as imagens

Nesta etapa, tiramos fotos de uma superfície rugosa em diferentes posições para analisarmos a correlação através da Eq.(5). O aparato experimental consistiu de um laser em

532nm e uma amostra metálica que espalhou o laser, veja Fig.4. A luz espalhada foi captada por uma câmera. Na sequência, as imagens foram tratadas com o imageJ e através da análise da Eq.(5) com o auxílio do Mathematica Wolfram.

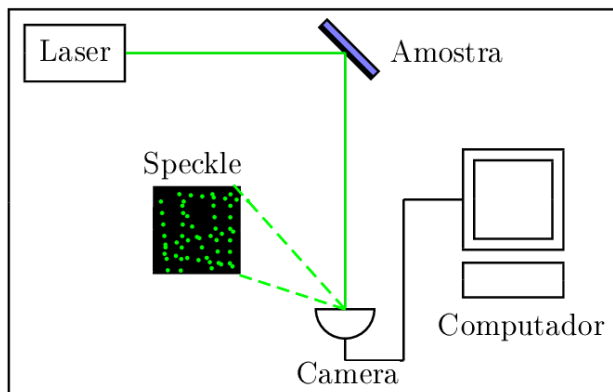


Figura 4. Sistema experimental usado para a análise de perfil de rugosidade através do padrão de speckle, obtido a partir da luz espalhada na amostra.

Em ambos os casos, obtivemos a correlação entre as diferentes posições da mesma peça conforme ilustrado na Fig. 5. Como era de se esperar a correlação foi igual a um, ao compararmos a primeira imagem com ela mesma, e zero ao compararmos com as demais.

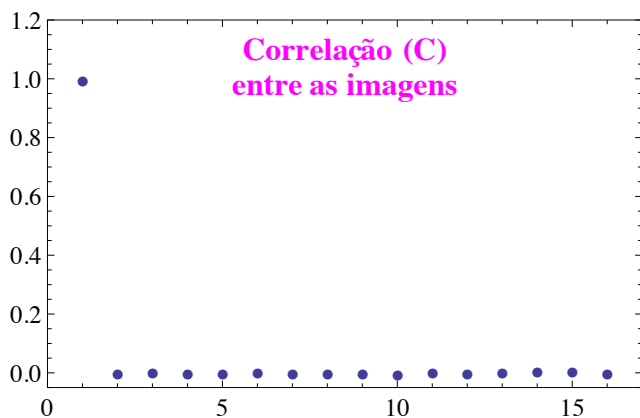


Figura 5. Gráfico ilustrando a correlação das imagens I_n , com $n = 1, \dots, 16$, em 16 pontos diferentes de uma peça metálica.

A próxima etapa será fixar a posição, mudar o ângulo de incidência e mostrar que a correlação é próxima de um, para o caso da chapa metálica dentro do padrão de qualidade.

V. RESULTADOS: AUTOMATIZAÇÃO COM ARDUINO

A. Circuitos no EASY EDA para caracterização de feixe

Até o presente momento, os resultados apresentados foram obtidos pelos métodos tradicionais. Nesta etapa, apresentaremos os primeiros resultados obtidos na programação com arduino com o intuito de automatizar os sistemas acima descritos.

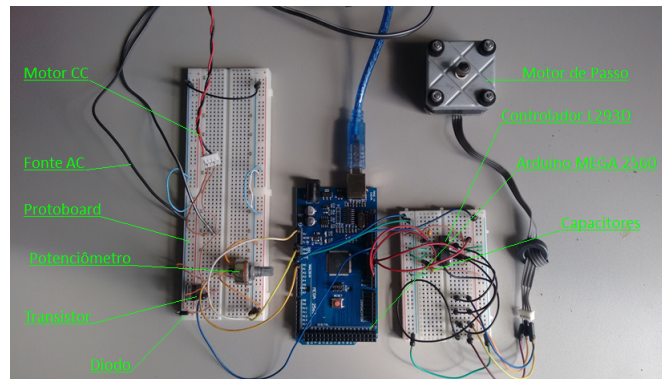


Figura 6. Protótipo do sistema de automatização do processo de caracterização de feixe gaussiano constituído por motor CC, fonte AC, protoboards, transistor, diodo, arduinos MEGA 2560, potenciômetro, motor de passo, capacitores e controlador L293D.

A automatização do procedimento de teste de faca [7] foi realizada através do uso do arduino UNO e MEGA 2560 no controle dos motores de corrente contínua (CC) e de passo [5]. A Fig.6 mostra a foto do sistema composto por motor CC, fonte AC, protoboards, transistor, diodo, arduino MEGA 2560, potenciômetro, motor de passo, capacitores e controlador L293D, utilizado no controle dos motores.

Para o controle, utilizou-se basicamente o comando analogWrite que serve para processar dados analógicos. No caso do controle do motor CC, foi possível controlar a quantidade de corrente elétrica que passava pelo motor, a fim de manipular sua velocidade. Já no controle do motor de passo foi usado o include Stepper.h cuja função é incluir a biblioteca do motor de passo, o comando setspeed que estabelece o número de rotações por segundo e o comando step que define os passos que serão dados.

Além deste último comando, foi utilizado também o digitalWrite e o delay para ambos motores. O digitalWrite teve a função de acionar os motores e o delay de controlar o tempo de acionamento. Na fig. 7 está ilustrado o circuito desenhado para o controle de motor CC e o de passo com arduino MEGA2560 no programa EASY EDA. Através deste circuito controlamos o movimento do motor CC ao longo do eixo z e, durante o tempo em que o programa pára o motor, acionamos o motor de passo que se move transversalmente a direção z e bloqueia parcialmente a potência que chega ao fotodetector.

Atualmente, controlamos a tensão proveniente de um fotodiodo com o arduino UNO e um circuito está sendo criado para fornecer a leitura em um display. A etapa seguinte será o armazenamento das imagens no arduino e a análise da potência através de um programa em linguagem C++ que será inserido no sistema.

B. Circuitos no EASY EDA para análise de padrão de speckle

Nesta etapa do trabalho, utilizamos o arduino UNO para controlar um motor de CC juntamente com um led simulando o acionamento da câmera do arduino (modelo OV7670) que será utilizada para gerar as imagens do padrão de speckle (veja Fig. 8).

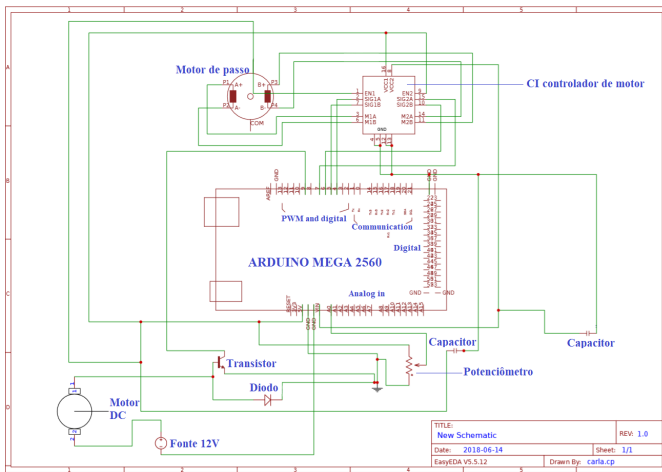


Figura 7. Circuito no programa EASY EDA com o motor de passo e o motor CC

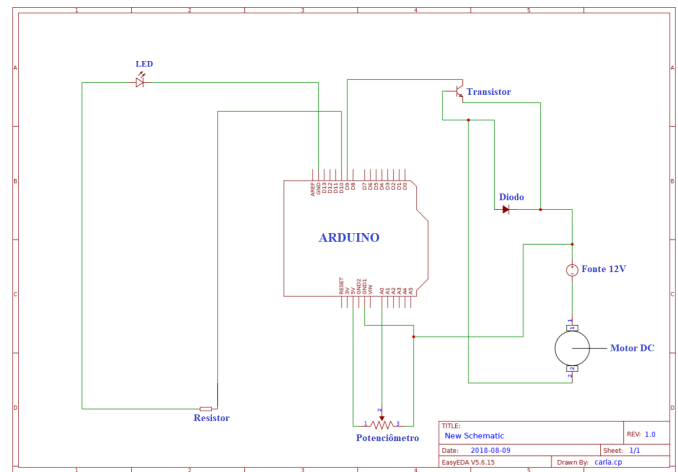


Figura 9. Circuito no programa EASY EDA para controlar o acionamento de um led quando o sistema está parado ou em movimento.

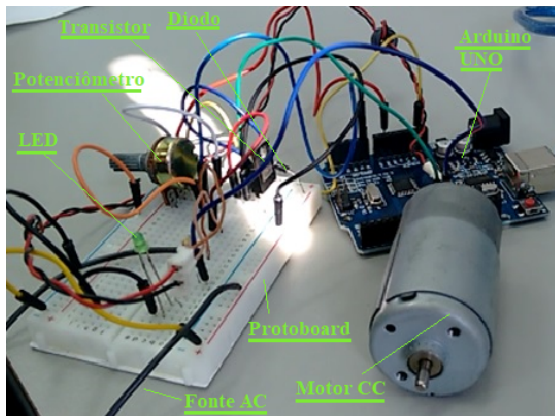


Figura 8. Protótipo do sistema de automatização do processo de análise de padrão de speckle constituído por motor CC, fonte AC, protoboard, Arduino UNO, diodo, transistor, potenciômetro e LED.

O circuito da Fig. 9 acende o LED quando o motor está estacionado e o apaga quando o motor estava em movimento, simulando o acionamento da câmera para obter fotos nos momentos em que o sistema estiver em repouso para o efeito de velocidade não interferir na medida.

A programação foi feita usando o digitalWrite para o acionamento do motor CC e do LED, além do comando delay para o controle de tempo dos mesmos. Para a programação com a câmera, usaremos o modelo OV7670 (câmera do arduino) para capturar as imagens e um motor de passo ao invés do motor de CC para mudar o ângulo de incidência enquanto capturamos as imagens [14].

VI. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

Em resumo, apresentamos neste artigo resultados preliminares de sistemas automatizados, baseados no microcontrolador arduino, que controlam motores de CC e de passo e, futuramente, controlarão a intensidade do feixe gaussiano para a obtenção dos parâmetros do mesmo. Outro sistema

apresentado foi o de controle de um LED que simula o acionamento de uma câmera que irá capturar imagens de uma peça metálica para diferentes ângulos para controle de qualidade.

Os estudos realizados, até o momento, foram de extrema importância pois não só auxiliarão na redução de erros humanos no processo mas também nos possibilitou reaproveitar elementos eletrônicos descartados que são extremamente úteis nos sistemas experimentais acima mencionados. Conseqüentemente, o trabalho desenvolvido tem um âmbito não só tecnológico mas também de sustentabilidade e preservação do meio ambiente.

As perspectivas futuras do trabalho são: aquisição e armazenamento dos valores de potência com o arduino MEGA2560 e análise com programação C++ para a obtenção de w_0 e z_0 com o sistema automatizado, finalização do sistema automatizado para análise de perfil de rugosidade com o arduino UNO, estudos de polarização através de padrão de speckle e confecção de peças com sketchup para a montagem de um protótipo que será testado nos laboratórios de óptica do ICEx/UFF.

VII. AGRADECIMENTOS

- Os autores agradecem aos colaboradores das instituições ICEx/UFF, FAT/UERJ e IMECC/Unicamp que forneceram toda infraestrutura necessária para a realização do projeto.
- Outro agradecimento de grande importância é aos alunos Cristiane M. Carvalho, Felipe R. Tavares, Emanuele Cristine L. C. Pereira e ao professor Dr. Bernardo B. da Fonseca, da FAT-UERJ, e a profa. Marina R. B. Dias, do ICEx/UFF, pela colaboração no projeto.

REFERÊNCIAS

- [1] B.E.A. Saleh, M.C. Teich, *Fundamentals of Photonics* (New York: Wiley, 2007).

- [2] R. Grimm, M. Weidemüller and Y. B. Ovchinnikov *Optical dipole traps for neutral atoms*, Advances in Atomic, Molecular and Optical Physics **42**, 95-170 (2000).
- [3] L. Pucci, A. Roy, T.S. do Espírito Santo, R. Kaiser, M. Kastner, R. Bachelard, *Quantum effects in the cooperative scattering of light by atomic clouds*, Phys. Rev. A **95**, 053625 (2017).
- [4] M. H. M. Passos, M. R. Lemos, S. R. Almeida, W. F. Balthazar, L. da Silva and J. A. O. Huguenin, *speckle patterns produced by an optical vortex and its application to surface roughness measurements*, Applied Optics **56**, 330-335 (2017).
- [5] M. McRoberts, *Beginning arduino (Technology in Action)* 2nd ed. Edition (New York, 2013).
- [6] M. A. Marques, C. A. Rego, J.H. Rodrigues, L. Bernardino e J. R. Salcedo, Propagação de feixes laser, *Gaz. Fis.* **12**, 53-59 (1989).
- [7] M. O. dos Santos, *Desenvolvimento de um sistema automatizado para a caracterização espacial de feixes lasers*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade Estadual de São Paulo, Ribeirão Preto (2007).
- [8] J. W. Goodman, Some fundamental properties of speckle. *J. Opt. Soc. Am.* **66**: 11 (1976) 1145–1150. <http://dx.doi.org/10.1364/JOSA.66.001145>
- [9] B. B. Mandelbrot, *Fractals: Form, Chance and Dimension*. San Francisco, CA: Freeman, 1977. <https://doi.org/10.1002/esp.3290040122>
- [10] B. B. Mandelbrot. Fractals, lacunarity and how it can be tuned and measured, in: T. F. Nonnenmacher , G. A. Losa, E. R. Weibel (Eds.), *Fractals in biology and medicine*. Boston: Birkhäuser Basel, 1993, pp. 8–21. https://doi.org/10.1007/978-3-0348-8501-0_2
- [11] G. Chinga, K. Syverud, Quantification of paper mass distributions within local picking areas. *Nordic Pulp Paper Res. J.*, **22**:4 (2007) 441–446. <https://doi.org/10.3183/NPPRJ-2007-22-04-p441-446>
- [12] D. Léger, E. Mathieu, J. C. Perrin, Optical Surface Roughness Determination Using Speckle Correlation Technique, *Applied Optics*. **14** (1975) 872–877. <https://doi.org/10.1364/AO.14.000872>
- [13] C. J. Tay, S. L. Toh, H. M. Shang, J. Zhang, Whole-field determination of surface roughness by speckle correlation, *Applied Optics*. **34**: 13 (1995) 2324–2335. <https://doi.org/10.1364/AO.34.002324>
- [14] R. D. Paiva Jr. and M. Muramatsu, Desenvolvimento de um rugosímetro a laser, *Rev. de Física Aplicada e Instrumentação*. **17**: 2 (2004) 60–69.

Estudo bibliográfico sobre metodologias empregadas para a estimativa de fitoplâncton em ambientes naturais

Everton Alves Miranda
*Programa de Pós-Graduação em
Sistemas Aplicados à
Engenharia e Gestão (SAEG)
IFFluminense
Campus Campos Centro
Campos dos Goytacazes, Brasil
eamirand@iff.edu.br*

Luiz Gustavo Lourenço Moura
*Programa de Pós-Graduação em
Sistemas Aplicados à
Engenharia e Gestão (SAEG)
IFFluminense
Campus Campos Centro
Campos dos Goytacazes, Brasil
gustavo@iff.edu.br*

Luiz Carlos Ferreira Garcez
*Programa de Pós-Graduação em
Sistemas Aplicados à
Engenharia e Gestão (SAEG)
IFFluminense
Campus Campos Centro
Campos dos Goytacazes, Brasil
luiz.garcez@iff.edu.br*

Milton Erthal Júnior
*Programa de Pós-Graduação em
Sistemas Aplicados à
Engenharia e Gestão (SAEG)
IFFluminense
Campus Campos Centro
Campos dos Goytacazes, Brasil
merthal@iff.edu.br*

Ricardo de Oliveira
*Programa de Pós-Graduação em
Sistemas Aplicados à
Engenharia e Gestão (SAEG)
IFFluminense
Campus Campos Centro
Campos dos Goytacazes, Brasil
eng.rdoliveira@gmail.com*

Renato Gomes Sobral Barcellos
*Programa de Pós-Graduação em
Sistemas Aplicados à
Engenharia e Gestão (SAEG)
IFFluminense
Campus Campos Centro
Campos dos Goytacazes, Brasil
rbarcellos@iff.edu.br*

Resumo — A determinação da concentração de fitoplâncton é um requisito básico para a compreensão dos processos de produção primária em sistemas aquáticos, sendo sua determinação *in situ*, uma metodologia eficiente para a obtenção ágil de resultados e para o monitoramento contínuo e automatizado. O presente estudo tem como objetivo identificar os aspectos mais relevantes sobre medição *in situ* do fitoplâncton, focando em sua acessibilidade e custo de implementação, assim como, identificar um conjunto de publicações formando um núcleo literário de partida para o estudo de aprofundamento das metodologias de determinação da concentração de fitoplâncton em ambientes aquáticos. A metodologia fundamentou-se na busca em bases de publicações literárias, seleção dos artigos pertinentes, seguida da extração e síntese dos dados. Os resultados convergiram para uma seleção de documentos seguida de uma revisão sistemática. Ao final, pôde-se concluir que o tema se mantém relevante e que as propostas apresentadas pela literatura demonstram-se consideravelmente heterogêneas no que diz respeito à flexibilidade, à quantidade de parâmetros monitoráveis e, conseqüentemente, ao custo de implementação. Concluiu-se também que, nas propostas economicamente mais acessíveis, houve a predominância da utilização dos microcontroladores da família Arduino, das fontes de excitação luminosa baseada em LED e de sensores de intensidade luminosa, substituindo os fluorímetros comerciais.

Palavras-chaves – *Estimativa do fitoplâncton, Medição in situ, Sistemas de baixo custo.*

I. INTRODUÇÃO

O gerenciamento de recursos hídricos constitui um dos principais assuntos relacionados à sustentabilidade. A Lei Federal 9433/97, a qual instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, dota a água de valor econômico, caracterizando-a como um recurso finito e de domínio público, sendo as bacias hidrográficas as unidades de planejamento e gestão, tanto para ações de promoção, quanto de proteção [1].

O suprimento de água potável para consumo nos centros urbanos, geralmente é baseado no tratamento de água bruta oriunda de rios, lagos e represas. Estes mananciais sofrem com as ações antrópicas como a ocupação irregular em seu entorno, o despejo de esgotos, a pesca predatória, a destruição da mata ciliar, dentre outras.

A eutrofização é um processo natural que ocorre em muitos mananciais aquíferos. Este problema ocorre devido a presença de matéria orgânica na água em níveis elevados. Esta matéria orgânica, carregada todo território da bacia hidrográfica, é degradada no reservatório, contribuindo para a ciclagem de nutrientes. A eutrofização é, geralmente, mais intensa nos corpos hídricos localizados próximos as áreas urbanas. Nestes ambientes, a poluição difusa e os despejos industriais e residenciais agravam o problema. Na zona rural, o processo de eutrofização pode ser intensificado pelas atividades agrícolas, como a erosão e lixiviação de fertilizantes sintéticos, gerando m aporte adicional de fósforo e nitrogênio.

Nos reservatórios pode ocorrer a predominância de grandes períodos de retenção da água, gerando um maior favorecimento ao acúmulo de matéria orgânica e sedimentos, o que, conseqüentemente, ocasiona um crescimento acelerado da comunidade fitoplanctônica, provocando conseqüências negativas sobre o custo do tratamento da água [2].

Sendo a clorofila *a* é o principal pigmento fotossintético do fitoplâncton, a mesma tornou-se amplamente utilizada para estimativa do volume de biomassa relacionada ao mesmo [3], sendo o método de medição através da fotofluorescência, um dos mais aplicados para esta finalidade [4].

Vários trabalhos acadêmicos relacionados a estudos que objetivam o monitoramento de corpos hídricos mostram limitações pela reduzida quantidade de amostras utilizadas [5 – 6]. Esta realidade se estabelece devido à dificuldade de coleta/medição, assim como, ao custo relacionado aos sistemas atuais de sondagem [3].

Financiado com recursos da cobrança pelo uso da água. Comitê da Bacia Hidrográfica do Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana - AGEVAP.

O desenvolvimento de equipamentos e de metodologias que quantifiquem a massa orgânica existente, assim como, a sua dinâmica *in vivo* é um requisito básico para a compreensão dos processos de produção primária [7].

A necessidade de cobrir grandes áreas nas campanhas de medição e o interesse geral na redução dos custos observacionais demandam o desenvolvimento de novas estratégias para este objetivo, sendo estas, fundamentais se para lidar com projetos de pesquisa atuais e futuros. Por isso, o desenvolvimento de equipamentos para este fim, assegura a autonomia tecnológica e propicia a redução de custos de construção e manutenção. A disponibilidade desses instrumentos de baixo custo torna-se um fator chave para o desenvolvimento de pesquisas, e o redirecionamento dos investimentos para outras áreas e necessidades específicas dos projetos que ora eram destinados para compra de equipamentos importados [8 – 9].

Mediante ao exposto, o desenvolvimento de sistemas de medição e coleta automática de dados para ambientes aquáticos, os quais possam incrementar a quantidade de amostras, sistematizando a distribuição das mesmas, em relação ao período de campanha e aos intervalos de tempo adequados, mantendo contudo, um custo acessível, apresenta-se como pertinente frente à realidade de acesso às atuais tecnologias de monitoramento automatizado na área ambiental.

O objetivo deste estudo é identificar a produção bibliográfica sobre os sistemas de medição desenvolvidos para a estimativa do volume do fitoplâncton. As publicações selecionadas foram as que continham foco específico em medição *in situ*, na acessibilidade e no custo de implementação, de forma a identificar os seus aspectos mais relevantes.

Este artigo está estruturado da seguinte forma: Seção introdutória e mais quatro seções. A Seção II trata da metodologia empregada. A Seção III aborda os resultados, sendo dividida em 2 subseções: A Subseção A versa sobre estratégia de busca e a seleção de documentos, enquanto a Subseção B versa sobre a revisão sistemática. Por fim, a Seção IV realiza as discussões, enquanto a Seção V aborda as conclusões.

II. METODOLOGIA

O método utilizado segue alguns dos passos propostos em [10], os quais, neste estudo, resumem-se à: elaboração da pergunta de pesquisa; busca na literatura; seleção dos artigos; extração dos dados; síntese dos dados (metanálise); e redação e publicação dos resultados.

Busca-se também, manter aderência à recomendação PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis*), a qual consiste de uma lista de verificação de 27 itens, caracterizando-se como um guia de redação, orientando o desenvolvimento de revisões sistemáticas e meta-análises [11 – 13].

A estratégia para a elaboração da pergunta de pesquisa está associada ao acrônimo PICOS (*Population, Intervention, Comparison, Outcome and Study type*) [10], conforme detalhado no Quadro I. Com base nesta metodologia a pergunta de pesquisa resultante foi: “Qual a concepção mais

vantajosa do ponto de vista técnico-econômico para a medição *in situ* do fitoplâncton?”

QUADRO I. ELABORAÇÃO DA PERGUNTA DE PESQUISA

Descrição	Abreviação	Componentes da pergunta
População	P	Medição por fotofluorescência
Intervenção	I	Estimativa <i>in situ</i> do fitoplâncton
Comparação	C	Aspectos construtivos/financeiros
Desfecho	O	Eficiência e economia
Tipo de estudo	S	Comparativo

De forma coerente com o explicado em [14], antes da coleta dos títulos para a revisão sistemática, foi realizada uma pesquisa preliminar, buscando uma maior familiaridade com o tema, assim como, um melhor embasamento para a avaliação da viabilidade da revisão e para obtenção de uma melhor definição da questão de pesquisa.

A buscas de documentos científicos foi realizada no repositório *ScienceDirect*. Os primeiros termos base para a formação da *string* de busca foram: avaliação, clorofila, fitoplâncton e fluorescência, utilizando-se também seus respectivos *thesaurus* e radicais de busca. Em seguida, seguindo a mesma estratégia, foram adicionadas as expressões: “*in situ*” e “baixo custo”, de forma a promover o refinamento do foco da pesquisa. O Quadro II. detalha a estrutura das *strings* de busca utilizadas na pesquisa.

QUADRO II. STRINGS DE BUSCA UTILIZADAS NA PESQUISA

Tentativa	String de busca
A (Seleção Global)	(((Assessment*) OR (measurement) OR (metering) OR (mensuration) OR (sensor*)) AND ((fluoromet*) OR (fluorimet*)) AND (chlorophyll) AND ((phytoplankt*) OR (eutrophi*)))
B	(((Assessment*) OR (measurement) OR (metering) OR (mensuration) OR (sensor*)) AND ((fluoromet*) OR (fluorimet*)) AND (chlorophyll) AND ((phytoplankt*) OR (eutrophi*)) AND (in situ))
C	(((Assessment*) OR (measurement) OR (metering) OR (mensuration) OR (sensor*)) AND ((fluoromet*) OR (fluorimet*)) AND (chlorophyll) AND ((phytoplankt*) OR (eutrophi*)) AND ((low cost) OR (low-cost) OR (cheap*) OR (Inexpens*) OR (affordable)))
D (Seleção Específica)	(((Assessment*) OR (measurement) OR (metering) OR (mensuration) OR (sensor*)) AND ((fluoromet*) OR (fluorimet*)) AND (chlorophyll) AND ((phytoplankt*) OR (eutrophi*)) AND ((low cost) OR (low-cost) OR (cheap*) OR (Inexpens*) OR (affordable)) AND (in situ))

Em seguida, foram definidos os critérios de priorização e exclusão de documentos, privilegiando os artigos mais recentes ou com maior número de citações e excluindo aqueles nos quais o *Abstract* não demonstrou adequada aderência à pergunta de pesquisa. Os documentos selecionados foram lidos na íntegra e uma síntese do conteúdo foi realizada quanto aos aspectos relevantes associados ao problema de pesquisa.

III. RESULTADOS

A. Seleção de documentos

O diagrama de Venn apresentado na Fig. 4 mostra que, considerando-se a base de dados pesquisada, foram encontradas 5631 ocorrências para a combinação de termos: avaliação, fluorescência, clorofila e fitoplâncton. Observa-se na Fig. 5 que, após a adição do termo “in situ”, as ocorrências foram reduzidas à 3582, o que equivale à, aproximadamente, 64% do total. Observa-se também, que após a adição simultânea dos termos “in situ” e “baixo custo”, as ocorrências foram reduzidas à 578.

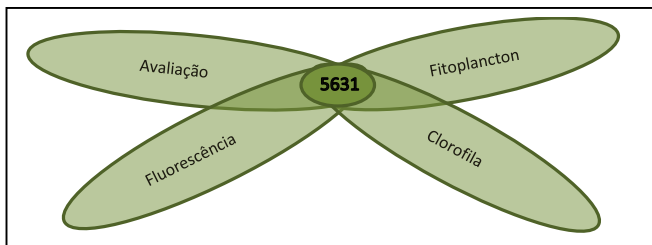


Fig. 4 Resultados da aplicação da string da tentativa A (Seleção Global)

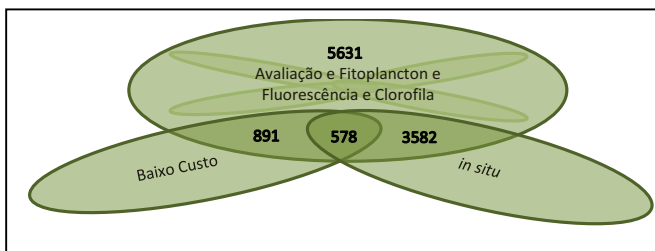


Fig. 5 Resultados da aplicação da string tentativa D (Seleção Específica)

Na Fig. 6, considerando-se um corte temporal de 1980 até 2017, pode-se observar a tendência de comportamento das quantidades de publicações relacionadas as strings “A” (linha em azul) e “D” (linha em vermelho). Em ambos os casos, pode-se verificar a continuidade da tendência de crescimento.

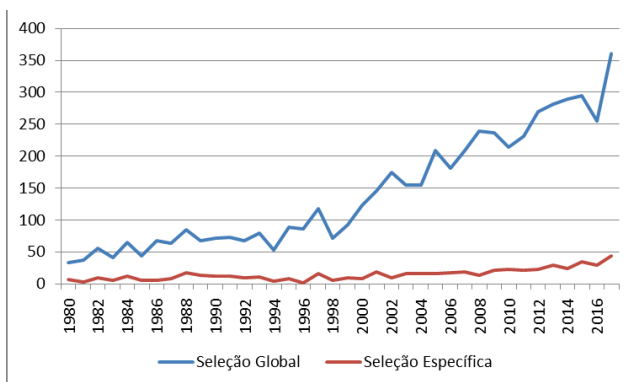


Fig. 6 – Gráfico de tendência de publicações na base ScienceDirect

Com base na string “D” (seleção específica) puderam ser identificados os periódicos mais usados para divulgação destes conhecimento (Quadro III).

QUADRO III. VINTE VEÍCULOS DE DIVULGAÇÃO MAIS RELEVANTES

Título da Publicação	Quantidade de Artigos
Deep Sea Research Part B. Oceanographic Literature Review	70
Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography	33
Journal of Marine Systems	31
Water Research	27
Progress in Oceanography	24
Journal of Experimental Marine Biology and Ecology	22
Marine Pollution Bulletin	22
Estuarine, Coastal and Shelf Science	20
Journal of Chromatography A	20
Harmful Algae	17
Remote Sensing of Environment	15
Journal of Great Lakes Research	14
Continental Shelf Research	13
Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers	10
Science of The Total Environment	10
Journal of Sea Research	9
Marine Chemistry	9
Aquaculture	8
Deep Sea Research Part A. Oceanographic Researc...	8
Ecological Engineering	6

B. Revisão sistemática

Na revisão bibliográfica foram encontrados importantes estudos, os quais revelaram diferentes sistemas e implementações, demonstrando características, vantagens e custos de implementação, à citar:

- Descrição de um instrumento submersível que faz medições simultâneas de fluorescência de clorofila, atenuação de feixe e dispersão angular usando uma lanterna de xenon como fonte de luz e três sensores ópticos (fluorímetro, nefelômetro e transmissômetro) montados em uma carcaça submersível de 2 metros. O sistema dispara trens de pulso de espaçamento predeterminado (geralmente cinco pulsos por segundo, seguido por um período de pausa ajustável) [15].
- Relato do desenvolvimento de métodos e algoritmos para a extração de informações de interesse no monitoramento ambiental, a partir de espectros gerados por um equipamento de *Light Detection And Ranging* (LIDAR), construindo uma ferramenta de suporte a estudos oceanográficos [7].
- Apresentação de um detector ótico baseado em fluorescência, absorvência e dispersão, utilizando um microcontrolador Atmel ATmega (programável pela linguagem de programação do Arduino), cinco

unidades LED (*Light Emitting Diode*) e uma lâmpada de deutério-tungstênio com comprimento de onda entre 185 e 1100 nm [16].

- Apresentação de uma investigação sobre a construção de um fluorímetro *in situ*, de arquitetura aberta. O mesmo se propõe a ser facilmente reproduzível, a partir de um microcontrolador Arduino Duemilanove (ATmega328) e de componentes eletrônicos simples e acessíveis, permitindo a realização de coletas de medidas precisas da fluorescência *in situ* do fitoplâncton, a um custo de aproximadamente US\$ 150 [17].
- Apresentação de uma aplicação para o monitoramento integrado e distribuído em ambiente marinho, especificamente desenvolvida para utilização em embarcações. O referido sistema mede temperatura, condutividade, clorofila *a* e clorofila orgânica dissolvida, possuindo um custo de implementação, à época, de aproximadamente 1.200 € [9].
- Descrição de um equipamento com capacidade de identificação de tendências de poluição e de uma implementação de sistema de alerta antecipado. O mesmo utiliza 5 lâmpadas de LED e um microcontrolador CC2511F32 (*Texas Instruments*) programado em uma variante da linguagem C, associado a um conversor analógico/digital de 12 bits. Em paralelo é utilizado um controlador Raspberry PI (modelo *b*). O custo aproximado foi de 250 € para os elementos óticos-eletrônico, convergindo para um custo total inferior a 650 € [18].
- Apresentação do desenvolvimento de um sensor submersível baseado em espectroscopia de fluorescência para monitoramento, em tempo real, de importantes indicadores da qualidade da água (como clorofila *a*, óleo e material similar a proteína), em diferentes profundidades, focando no desenvolvimento de um sensor de baixo custo capaz de medir a fluorescência em um amplo intervalo espectral (200 nm-1100 nm). O sistema utilizou um microcontrolador PIC 18F2550 (microchip), possuindo uma interface gráfica desenvolvida no ambiente LabView [4].
- Análise de diferentes equipamentos desenvolvidos com características de baixo custo e baseados no paradigma do “faça você mesmo” [19].
- Detalhamento de duas sondas para monitoramento simultâneo de temperatura e salinidade (condutividade) para ambiente marinho. A proposta tem foco no baixo custo, na flexibilidade e na maximização da personalização. O primeiro modelo apresentado consiste em uma sonda de deriva, utilizando a plataforma Arduino MEGA 2560 e um sistema de GPS (*Global Positioning System*) a um custo aproximado de US\$ 300, enquanto o segundo modelo é um sistema fixo, utilizando a plataforma Arduino UNO a um custo de aproximadamente US\$ 250 [20].
- Relato do projeto denominado KdUINO, o qual consiste de uma boia para medição da transparência da água. O sistema se baseia na utilização da

plataforma Arduino MEGA, aproveitando as funcionalidades de uma câmera de vídeo para a captura da disponibilidade de luz em diferentes profundidades, em três canais (RGB), e interpretar a atenuação de luz em toda a coluna de água. O custo de construção manteve-se entre US\$ 60 e US\$ 100 [21].

- Descrição do desenvolvimento de um analisador portátil da superfície da água do mar, destinado ao mapeamento da distribuição de nitrato, nitrito e amônia, os quais são considerados os três principais nutrientes inorgânicos nitrogenados nos sistemas costeiros. A abordagem utiliza um GPS e lâmpadas de flash xenon pulsadas. O equipamento pesa 45kg, utiliza três fluorímetros separados. O custo foi de, aproximadamente, US\$ 20.000 [22].
- Relato do projeto denominado SmartFluo, o qual consiste de um sistema, dotado de um tipo de sensor que aproveita as funcionalidade de um Smartphone para a captura, via câmera fotográfica, da parcela vermelha do sinal RGB, o qual é relativo aos valores de foto-fluorescência da concentração de Clorofila *a*. O mesmo custou aproximadamente 50 €, excluindo o smartphone. O projeto tem, como um de seus objetivos, incentivar os cidadãos a realizar observações ambientais com seus smartphones [23].

IV. DISCUSSÃO

A. Aspectos Bibliométricos

Considerando-se os dados apresentados na Fig. 4, observou-se a existência de um número expressivo de trabalhos relacionados à avaliação do fitoplâncton por fotofluorescência da clorofila (Quadro II. Tentativa A = 5631 trabalhos). Analisando-se a Fig. 6, para esse mesmo conjunto de termos (neste caso, identificados como “Seleção Global”), pôde-se perceber que, apesar das oscilações, existe uma tendência de aumento progressivo na quantidade de trabalhos relacionados.

Observando-se a Fig. 5, verificou-se que mais da metade dos trabalhos encontrados (Quadro II. Tentativa B = 3582) se relaciona à medição/estimativa *in situ*. Essa predominância exemplifica às tentativas de contornar as dificuldades relacionadas às medições realizadas em ambiente de laboratório, para as quais se faz necessário o acondicionamento, a preservação e o transporte das amostras [3, 16, 23]. Esses métodos apresentam considerável morosidade na obtenção do resultado da análise e custos elevados, os quais acabam contribuindo para a limitação do quantitativo de amostras a serem analisadas.

Analisando-se na Fig. 6, a tendência identificada como “Seleção Específica” (compatível com a Tentativa D do Quadro II), pôde-se identificar um crescimento expressivo no número de publicações relacionadas ao tema abordado, com um destaque especial para o período entre 2008 (14 publicações) e 2017 (44 publicações). Considerando-se apenas os dados relativos aos meses de janeiro e fevereiro de 2018, os quais não foram representados na Fig. 6, identificou-se 10 novas publicações, o que equivale a uma média bimestral 36% maior do que a das publicações de 2017.

B. Aspectos financeiros

As ferramentas de busca dos repositórios, normalmente, pesquisam os termos de interesse, especificamente nos campos relativos ao *título*, *resumo* e *palavras-chaves* dos artigos. Analisando-se os resultados das buscas, observou-se que, alguns artigos, os quais, após a análise de seu conteúdo completo, foram considerados como relevantes para o estudo, não apresentavam referência alguma à característica de acessibilidade ou de baixo custo da implementação, em nenhum dos campos citados acima. Pelo exposto, entende-se que, para os trabalhos futuros, existe necessidade de melhorias na estratégia de busca deste aspecto.

Foi constatada uma grande heterogeneidade no que diz respeito à abrangência das diferentes implementações, existindo algumas caracterizadas por uma alta flexibilidade e/ou por uma grande quantidade de parâmetros monitoráveis [4, 9, 15, 16, 22], enquanto outras, demonstraram considerável simplicidade, mantendo seu foco em alguns poucos parâmetros específicos, obtendo, por conseguinte, uma expressiva redução de custo [17, 20 – 21]. A existência dessas diferentes categorias de implementação dificulta a comparação entre o custo das mesmas.

C. Aspectos Construtivos

Apesar de que nem todas as publicações revelaram os detalhes construtivos de suas implementações, considerando-se as informações disponibilizadas, foi possível identificar alguns fatores predominantes quanto a determinados aspectos:

- Quanto à utilização de microcontroladores, são relatadas arquiteturas, as quais, apesar de apresentarem alguma variação (entre versão ou modelo), demonstraram a predominância do Arduino/ATmega [16 – 17, 20 – 21], sobre outras opções como PIC [4] ou CC2511F32 [18].
- Quanto a fonte de excitação luminosa se constatou a predominância da utilização de LED [4, 16 – 18], em detrimento de outras opções como as lâmpadas de xenon [15, 22] ou as lâmpadas de deutério-tungstênio [16].
- Quanto ao elemento sensor, as propostas mais flexíveis (e consequentemente, com maior custo de implementação) aplicaram fluorímetros comerciais [15, 16, 22], enquanto outras utilizaram sensores de intensidade luminosa [17 – 18]. Implementações mais recentes relatam o uso das funcionalidade de câmeras de vídeo para a captura da disponibilidade de luz em três canais (RGB) [21, 23].

As constatações acima podem ser justificadas, pois o Arduino caracteriza-se como uma solução de baixo custo, possuindo hardware e software de código aberto, o que facilita a instalação e manutenção do sistema. Sua popularidade tem sido impulsionada, tanto por sua simplicidade, quanto pelos inúmeros sensores e bibliotecas disponíveis para a ampliação de suas capacidades básicas [24 – 26].

A excitação luminosa utilizando LED oferece várias vantagens em relação às fontes alternativas de luz, estando disponível em uma ampla gama de comprimentos de onda, proporcionando um menor consumo de energia, uma maior eficiência, um menor aquecimento e uma concepção

construtiva mais compacta [16], apresentando-se como um método adequado e barato para a interpretação do volume do fitoplâncton em corpos de água bruta [4, 16]. Outro aspecto relevante é que conforme [17], o alto preço dos fluorímetros industrializados, por vezes, torna-os inacessíveis à várias instituições. Essa realidade tem impulsionado a utilização de sensores de intensidade luminosa, montados em conjunto com filtros específicos para a seleção do desejado comprimento de onda.

V. CONCLUSÕES

Analisando-se a bibliografia encontrada sobre medição *in situ* do fitoplâncton, foi possível se perceber, baseado no corte temporal de 2008 a 2017, que existe a tendência de manutenção da evolução da quantidade de publicações sobre o assunto, comprovando a atualidade do tema. Foi possível identificar os vinte periódicos de divulgação mais relevantes para o referido assunto e definir uma sugestão de uma seleção de partida para pesquisas futuras.

Considerando-se a literatura pesquisada, observou-se uma considerável heterogeneidade na abrangência das propostas apresentadas, pois algumas demonstraram a possibilidade de monitoramento de uma grande quantidade de parâmetros simultâneos e/ou uma alta flexibilidade para a personalização do sistema, enquanto outras mantiveram seu foco em alguns poucos parâmetros específicos, obtendo, por conseguinte, uma expressiva redução de custo. Essa realidade dificultou a comparação da relação custo x benefício entre essas duas diferentes categorias.

Na pesquisa realizada pôde-se perceber a predominância da utilização dos microcontroladores da família Arduino, das fontes de excitação luminosa baseadas em LED e de sensores de intensidade luminosa, substituindo os fluorímetros comerciais.

Como sugestão de trabalhos futuros, propõem-se a ampliação da pesquisa, abrangendo outras bases bibliográficas, assim como, bancos de teses e dissertações.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradem ao Comitê da Bacia Hidrográfica do Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana – AGEVAP pelo apoio financeiro ao desenvolvimento e à publicação deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] BRASIL, “LEI No 9.433/97: A política nacional de recursos hídricos e sua implementação no Distrito Federal..” 1997.
- [2] D. Brooke, D. Ribeiro, L. Rodrigues, M. Campos, and R. Mendes, “Algas e Seus Impactos em Sistemas de Tratamento de Águas para Abastecimento: Estudo de Caso Sistema Guarapiranga,” *brookepeig*, Jun-2008. [Online]. Available: <https://www.brookepeig.com/downloads/Algas.pdf>. [Accessed: 03-Mar-2018].
- [3] INAG, I. P., “Manual para a avaliação da qualidade biológica da água. Guia de utilização da tabela de valores - guia normalizados de biovolumes e determinação do biovolume através de procedimentos laboratoriais.” Instituto da Água, I.P., 2011.
- [4] A. Puiu, L. Fiorani, I. Menicucci, M. Pistilli, and A. Lai, “Submersible Spectrofluorometer for Real-Time Sensing of Water Quality,” *Sensors*, vol. 15, no. 6, pp. 14415–14434, Jun. 2015.
- [5] A. M. ALMEIDA *et al.*, “O GRADIENTE SALINO NO BAIXO CURSO DO RIO SÃO JOÃO, RJ,” in *XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA*, Rio de Janeiro, 2013.

- [6] A. R. . ARAÚJO *et al.*, “ESTUDO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO BAIXO CURSO DO RIO SÃO JOÃO, CASIMIRO DE ABREU, RJ,” in *XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA*, Rio de Janeiro, 2013.
- [7] P. C. D. C. Barbosa, “Aplicações de Fluorescência Induzida por Laser em Monitoramento Ambiental,” Doutorado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.
- [8] I. F. Aymerich, A.-M. Sánchez, S. Pérez, and J. Piera, “Analysis of discrimination techniques for low-cost narrow-band spectrofluorometers,” *Sensors*, vol. 15, no. 1, pp. 611–634, Dec. 2014.
- [9] M. Marcelli, V. Piermattei, A. Madonia, and U. Mainardi, “Design and Application of New Low-Cost Instruments for Marine Environmental Research,” *Sensors*, vol. 14, no. 12, pp. 23348–23364, Dec. 2014.
- [10] T. F. Galvão and M. G. Pereira, “Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração,” *Epidemiol. E Serviços Saúde*, vol. 23, no. 1, pp. 183–184, Mar. 2014.
- [11] T. F. Galvão and M. G. Pereira, “Redação, publicação e avaliação da qualidade da revisão sistemática,” *Epidemiol. E Serviços Saúde*, vol. 24, no. 2, pp. 333–334, Jun. 2015.
- [12] PRISMA, “PRISMA 2009 Checklist.” 2009.
- [13] T. F. Galvão, T. de S. A. Pansani, and D. Hammad, “Principais itens para relatar Revisões sistemáticas e Meta-análises: A recomendação PRISMA,” *Epidemiol. E Serviços Saúde*, vol. 24, no. 2, pp. 335–342, Jun. 2015.
- [14] M. G. Pereira and T. F. Galvão, “Etapas de busca e seleção de artigos em revisões sistemáticas da literatura,” *Epidemiol. E Serviços Saúde*, vol. 23, no. 2, pp. 369–371, Jun. 2014.
- [15] D. McKee, A. C. Ham, and K. Jones, “An integrated submersible fluorometer/nephelometer/ transmissometer: design and testing at sea,” *Opt. Laser Technol.*, vol. 29, no. 1, pp. 35–39, Feb. 1997.
- [16] C.-L. Ng, S. Senft-Grupp, and H. F. Hemond, “A multi-platform optical sensor for in situ sensing of water chemistry,” *Limnol. Oceanogr. Methods*, vol. 10, no. 12, pp. 978–990, Dec. 2012.
- [17] T. Leeuw, E. S. Boss, and D. L. Wright, “In situ Measurements of Phytoplankton Fluorescence Using Low Cost Electronics,” *Sensors*, vol. 13, no. 6, pp. 7872–7883, Jun. 2013.
- [18] K. Murphy *et al.*, “A low-cost autonomous optical sensor for water quality monitoring,” *Talanta*, vol. 132, pp. 520–527, Jan. 2015.
- [19] J. A. Busch *et al.*, “Citizen Bio-Optical Observations from Coast-and Ocean and Their Compatibility with Ocean Colour Satellite Measurements,” *Remote Sens.*, vol. 8, no. 11, p. 879, Oct. 2016.
- [20] G. Lockridge, B. Dzwonkowski, R. Nelson, and S. Powers, “Development of a Low-Cost Arduino-Based Sonde for Coastal Applications,” *Sensors*, vol. 16, no. 4, p. 528, Apr. 2016.
- [21] R. Bardaji, A.-M. Sánchez, C. Simon, M. R. Wernand, and J. Piera, “Estimating the Underwater Diffuse Attenuation Coefficient with a Low-Cost Instrument: The KdUINO DIY Buoy,” *Sensors*, vol. 16, no. 3, p. 373, Mar. 2016.
- [22] R. T. Masserini Jr., K. A. Fanning, S. A. Hendrix, and B. M. Kleiman, “A coastal surface seawater analyzer for nitrogenous nutrient mapping,” *Cont. Shelf Res.*, vol. 150, pp. 48–56, Nov. 2017.
- [23] A. Friedrichs, J. A. Busch, H. J. van der Woerd, and O. Zielinski, “SmartFluo: A Method and Affordable Adapter to Measure Chlorophyll a Fluorescence with Smartphones,” *Sensors*, vol. 17, no. 4, p. 678, Mar. 2017.
- [24] M. Alvarez-Campana *et al.*, “Smart CEI Moncloa: An IoT-based Platform for People Flow and Environmental Monitoring on a Smart University Campus,” *Sensors*, vol. 17, no. 12, p. 2856, Dec. 2017.
- [25] J.-M. Wang, M.-T. Yang, and P.-L. Chen, “Design and Implementation of an Intelligent Windowsill System Using Smart Handheld Device and Fuzzy Microcontroller,” *Sensors*, vol. 17, no. 4, p. 830, Apr. 2017.
- [26] Arduino, “Arduino - Home,” 18-Aug-2018. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/>. [Accessed: 18-Aug-2018].

Síntese e Caracterização de Vidros Nióbio-fosfatos com Adição de Escórias

1st Munique Eva Paiva de Araujo
Instituto de Ciências Exatas
Universidade Federal Fluminense
Volta Redonda-RJ, Brasil
muniqueeva@id.uff.br

2nd Denimara Dias dos Santos
Instituto de Ciências Exatas
Universidade Federal Fluminense
Volta Redonda-RJ, Brasil
denimaradds@id.uff.br

3rd Camila Ferreira da Silva
Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Metalúrgica
Universidade Federal Fluminense
Volta Redonda-RJ, Brasil
camilaferreira@id.uff.br

4th Elivelton Alves Ferreira
Instituto de Ciências Exatas
Universidade Federal Fluminense
Volta Redonda-RJ, Brasil
eliveltonalves@id.uff.br

5th Michele Lemos de Souza
Instituto de Ciências Exatas
Universidade Federal Fluminense
Volta Redonda-RJ, Brasil
michele_lemos@id.uff.br

6th Ladário da Silva
Instituto de Ciências Exatas
Universidade Federal Fluminense
Volta Redonda-RJ, Brasil
ladariosilva@id.uff.br

Resumo—Este trabalho apresenta uma nova vertente para utilização das escórias utilizadas no processo siderúrgico, em busca de reduzir os danos causados devido a sobra exarcebada, e aumentar a reutilização desse rejeitos. Sintetizou-se dois novos vidros com a adição da escória de aciaria e da escória de distribuidor do lingotamento, na composição, através de uma das técnicas utilizadas para obtenção de vidros, fusão seguida de resfriamento. Além dessa síntese, é realizado um estudo das propriedades ópticas do material (índice de refração e o coeficiente de extinção), através da técnica de elipsometria. É possível também extrair a transmitância e reflectância do vidro versus o comprimento de onda, usando os recursos de fotometria do elipsômetro.

Index Terms—sustentabilidade ambiental, escória, vidros, propriedades ópticas e dielétricas

I. INTRODUÇÃO

O debate de minimizar os danos gerados pelo homem pôs em questão a reutilização de materiais que antes eram entendidos como rejeitos. Isto fez com que o discurso de reaproveitamento dos produtos ganhasse grande valor na hora de escolher a matéria prima. A escória é um coproduto na fundição de minérios e tem como destinos finais o empilhamento, uso na produção de cimento ou a produção de asfalto [1].

Considerando a vertente alternativa de adicionar escória na composição de vidros, investigada de forma pioneira no Brasil

Os autores agradecem à A Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) — Projeto E26/110.321/2012, à Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação (PROPI) da Universidade Federal Fluminense (UFF) – Projeto 23069.004676/2014-97 pelo apoio financeiro. O Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de Iniciação Científica (PIBIC / PIBIC-Af) da primeira autora, e à FINEP pela compra do Elipsômetro Espectroscópico SEMILAB GES 5S e o Microscópio Confocal Interferométrico LEICA DCM3D. Agradecemos ainda à Agência de Inovação da Universidade Federal Fluminense (AGIR) pela bolsa da segunda autora e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa da terceira autora.

nos trabalhos desenvolvidos por Zanotto [2], a escolha da utilização deste material na produção de vidro se deve em geral a presença de sílica na escória, em teores diversos. O dióxido de silício e um reagente tradicional para a formação da rede vítrea. Contudo, pretende-se estudar a combinação da escória com outro elemento formador da rede vítrea, conferindo uma inovação no método até então adotado. A partir disso, a escória [2] proveniente da fabricação do aço, oriunda de aciaria ou de distribuidor do lingotamento, será utilizada como um dos elementos na produção de vidros neste trabalho.

A diversa gama de aplicações dos vidros no cotidiano o tornou um material necessário para a sociedade moderna. Apesar de não ser muito notado, por já estar amplamente difundido, é imensamente útil. Isso se dá pela capacidade de ajuste de acordo com a finalidade dos vidros. Toda essa adaptação foi possível devido as pesquisas científicas para esclarecer as propriedades físicas e químicas dos vidros, que permitiram vislumbrar diversas aplicações de acordo com o desenvolvimento tecnológico [3].

As definições de vidro foram atualizadas durante o passar de anos. Atualmente vidros são entendidos como materiais não cristalinos, os quais possuem uma temperatura de transição vítrea [4]. Para obter esses materiais, é possível a adição de diferentes compostos, manipular as velocidades de resfriamento ou atingir diferentes temperaturas para a fabricação de diversos tipos de vidro.

Após a síntese dos vidros, a superfície dos mesmos foi preparada e avaliada através do Microscópio Confocal, para garantir planicidade e baixa rugosidade. Nestas condições pode-se obter as propriedades ópticas dos vidros através da Elipsometria. Essa técnica possui uma característica peculiar devido a sua precisão e por não ser destrutiva. Ela se baseia na avaliação da mudança do estado de polarização da luz ao interagir com a amostra [5]. No elipsômetro usado, a luz inci-

almente é linearmente polarizada, e ao entrar em contato com o material a luz geralmente muda seu estado de polarização. Esse elipsômetro usado possui ainda a possibilidade de realizar medidas fotométricas como a reflectância e a transmitância. A partir dos dados obtidos por elipsometria, consegue-se extrair o índice de refração (n) e o coeficiente de extinção (k).

Portanto, a motivação de usufruir da escória no processo de fusão do vidro é a possibilidade de reutilizá-la em um material amplamente difundido, o que gera uma nova possibilidade de aplicabilidade desse coproduto.

II. PROCEDIMENTO

Para se obter vidro são necessários reagentes, os quais se encontram presentes na formação da rede vítrea. São chamados de formadores aqueles que modificam propriedades físicas ou químicas devido a alteração do arranjo atômico. Não há síntese de vidro caso não haja formadores em sua composição. Modificadores, ou fundentes, são os reagentes que tendem a abaixar a temperatura de fusão. Utiliza-se o Hexametáfosfato de Sódio ($Na_6P_6O_{36}$) como principal formador, embora a Sílica (SiO_2) presente na escória também contribua como formadora da rede vítrea. Acrescenta-se o Nb_2O_5 devido a sua propriedade modificadora a qual produz uma maior resistência mecânica ao vidro, além de aumentar a durabilidade química. Além disso, a escória possui outros elementos em sua composição, porém esses não detêm de uma específica utilidade devido a porcentagens ínfimas.

Foram sintetizados dois vidros, os quais possuem a seguinte composição, 60%($Na_6P_6O_{36}$), 35% Nb_2O_5 e 5%Escória. A diferença está presente na Escória utilizada na fabricação dos vidros. Usou-se a Escória de Aciaria e a de Distribuidor do Lingotamento, sendo essas rejeitos de duas grandes produtoras de Aço do Sul Fluminense.

Após a escolha da composição e do cálculo estequiométrico, os reagentes foram pesados em uma Balança semi-analítica da marca Weblabor, modelo *M214AI*, a qual possui uma precisão de 0,001 g. Em seguida, utilizou-se um almofariz de porcelana com o auxílio de um pistilo, macerando a composição por cerca de cinco minutos manualmente, para homogeneizar a mistura. É importante destacar que com a evolução da ciência há um vasto número de processos de fabricação do vidro, entretanto, neste trabalho foi utilizado o método clássico, fusão seguida de resfriamento. Então, a mistura é depositada num suporte, o qual implica-se na utilização de um Cadinho de Platina (*Pt*) já que, o mesmo é altamente resistente a corrosão e a altas temperaturas.

Em seguida, o Cadinho foi colocado no Forno Mufla, marca Quimis, modelo *Q318M24* a uma temperatura de 1100 C, por cerca de uma hora. Após este tempo, o material fundido foi depositado em molde preaquecido na Estufa *PKK* a uma temperatura de 270 C, para evitar um choque térmico entre o vidro fundido e a superfície de contato da forma. Após o Cadinho ser retirado do forno com o auxílio de uma pinça de aço inoxidável, a solução viscosa foi vertida sobre o molde. Nesta etapa ocorre a formação do vidro, pois a medida que sucede um resfriamento rápido, os átomos perdem mobilidade

e não conseguem se organizar de forma cristalina, originando um sólido amorfo.

Esse processo da síntese foi realizado para os dois vidros fabricados, os quais podem ser observados na Fig.1.



Figura 1. Vidro com a Escória de Distribuidor do Lingotamento e Vidro com a Escória de Aciaria.

Fonte: Própria.

Para caracterizá-los pela técnica de elipsometria, são necessárias algumas condições da amostra, como no caso das superfícies do vidro estarem paralelas entre si e possuírem uma planicidade. Foi necessário um lixamento seguido de polimento para realizar uma diminuição da espessura de irregularidades de maneira uniforme e eficiente. Utilizou-se lixas metalográficas de granulometria 600 mesh, 800 mesh, 1200 mesh, 1500 mesh e 2000 mesh e uma Politriz para a parte do polimento com o auxílio de pasta de diamante com as seguintes granulometrias 1 μm e 0,25 μm .

Para se ter certeza de que o polimento foi adequado, antes de medir os vidros no Elipsômetro, esses passaram por uma análise no Microscópio Confocal Interferométrico, marca Leica DCM 3D. Com o uso do Confocal, neste trabalho foi possível a análise da superfície dos dois vidros, o estudo da planicidade, e a medida da rugosidade. Para a medida da rugosidade aplicou-se uma norma DIN 4768 [6].

Finalmente, após encontrar as rugosidades das superfícies e elas se enquadrarem na norma, realizaram-se as medidas Elipsométrica e Fotométricas dos vidros em questão. O equipamento utilizado foi um Elipsômetro Espectroscópico, da marca SEMILAB, modelo SOPRA GES-5E.

Na opção de fotometria, esse equipamento tem a capacidade de especificar a transmitância e a reflectância em função da intensidade pelo comprimento de onda. Foram realizadas medidas para as duas componentes (p e s , paralela e perpendicular à superfície respectivamente), para cada vidro, a fim de se obter a transmitância do material. Medidas essas realizadas num ângulo de 90°. Para encontrar a reflectância dos vidros, foram feitas análises nas componentes p e s do campo elétrico e no ângulo de 75°.

Por fim, para a opção de elipsometria, utilizou-se o ângulo de 75°. Com a medida extraíram-se os valores da $Tan(\psi)$ e $Cos(\Delta)$ versus comprimento de onda. Diante dessa medida, utiliza-se o software, Winelli, que propõe um modelo a fim de obter certos parâmetros importantes para caracterização

dos vidros como o índice de refração (n) e o coeficiente de extinção (k) versus o comprimento de onda. O modelo utilizado foi o modelo de bulk [5].

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através da utilização do Microscópio Confocal Interferométrico avaliou-se a topografia das amostras. A superfície do vidro da escória de distribuidor do lingotamento pode ser vista na Fig. 2, enquanto que a superfície da amostra obtida com a escória de aciaria é mostra na Fig. 3. As rugosidades foram obtidas usando a norma DIN 4768, e encontram-se na Tabela 1,

Tabela I
VALORES DA RUGOSIDADE SUPERFICIAL PRESENTE NOS VIDROS ESTUDADOS.

Rugosidade (R_a)	Vidro de Distribuidor	Vidro de Aciaria
	$(0,114 \pm 0,008) \mu\text{m}$	$(0,137 \pm 0,008) \mu\text{m}$

Também, foi possível analisar a topografia das amostras. Essas podem ser observadas na Fig. 2.

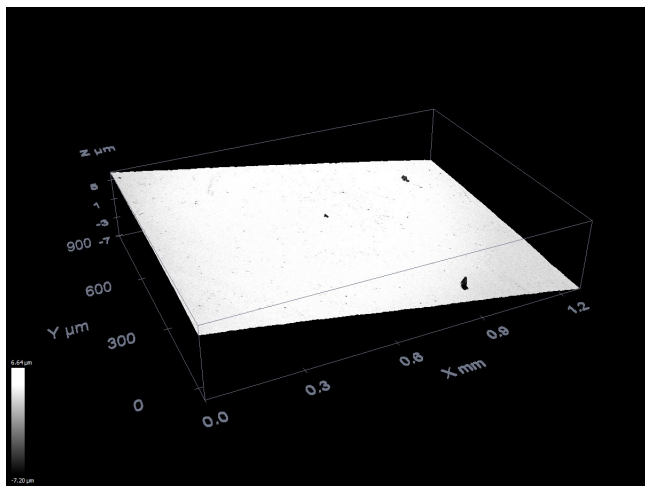


Figura 2. Topografia do Vidro de Distribuidor do Lingotamento.

E na Figura 3,

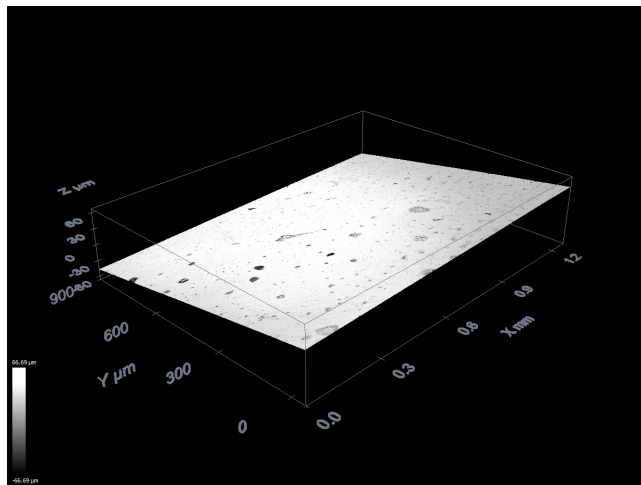


Figura 3. Topografia do Vidro de Aciaria.

Diante da baixa rugosidade e de uma variação pequena da altura da superfície do material foram realizadas as medidas Elipsométrica e Fotométricas. As medidas elipsométricas obtiveram os parâmetros $\text{Tan}(\psi)$ e $\text{Cos}(\Delta)$ versus o comprimento de onda (nm). Como o vidro possui uma estrutura homogênea, é possível a utilização do modelo de "bulk" [5] para se obter o coeficiente de extinção k e o índice de refração n em função do comprimento de onda com mencionado anteriormente.

Na Fig. 4 exibem-se o índice de refração (n) e o coeficiente de extinção (k) versus comprimento de onda para o ângulo de incidência de 75° do vidro de distribuidor. Percebe-se que (n) é aproximadamente 1,6 em toda a faixa do comprimento de onda. Já o coeficiente de extinção (k) é próximo de 0, em boa parte do espectro possui valor de 0,2, mas na região do infravermelho possui dois vales entre 800 e 1000 nm , os quais vão a 0.

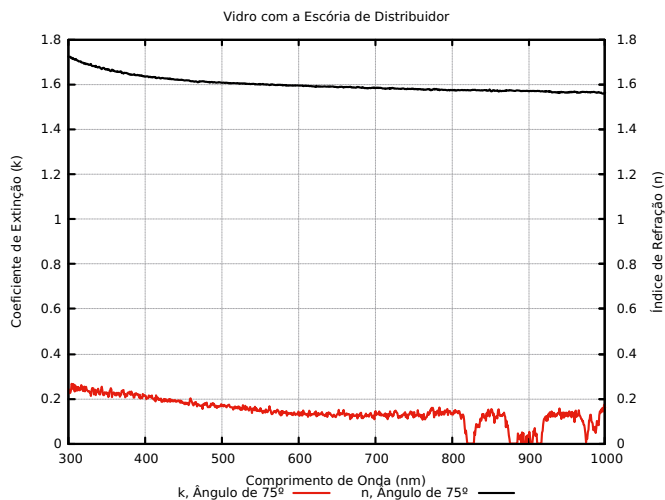


Figura 4. Medida Elipsométrica: Índice de Refração n e Coeficiente de Extinção k versus comprimento de onda do Vidro com Escória de Distribuidor do Lingotamento. n em preto e k em vermelho.

Similarmente, é observado na Fig. 5, para o vidro com

escória de aciaria o índice de refração também foi próximo de 1,6 e o coeficiente de extinção é próximo de zero entretanto na região do infravermelho possui vales entre 800 *nm* e 900 *nm*, os quais vão a zero.

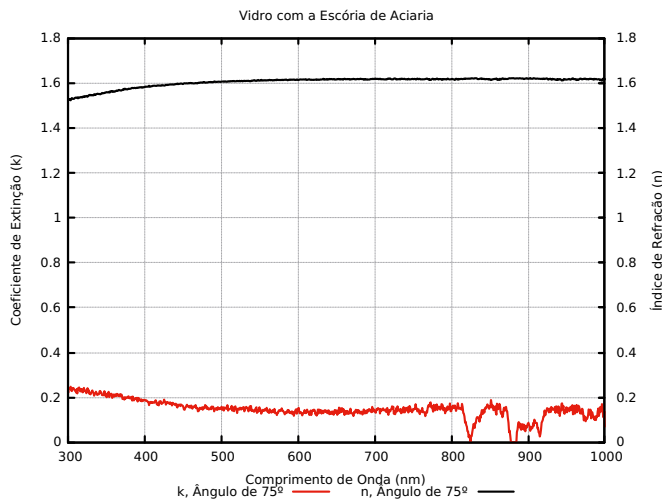


Figura 5. Medida Elipsométrica: Índice de Refração *n* e Coeficiente de Extinção *k* versus comprimento de onda do Vidro com Escória de Aciaria. *n* em preto e *k* em vermelho.

Já as medidas fotométricas, Transmitância e Reflectância do material, foram realizados para cada vidro, uma em cada componente do campo elétrico (perpendicular- *s* - e paralela - *p*). Sendo assim os gráficos relacionam, no eixo das ordenadas, a Transmitância em cada componente (*p* ou *s*) e, no eixo das abscissas, o comprimento de onda (*nm*). As Fig. 6 e 7 exibem essas medidas.

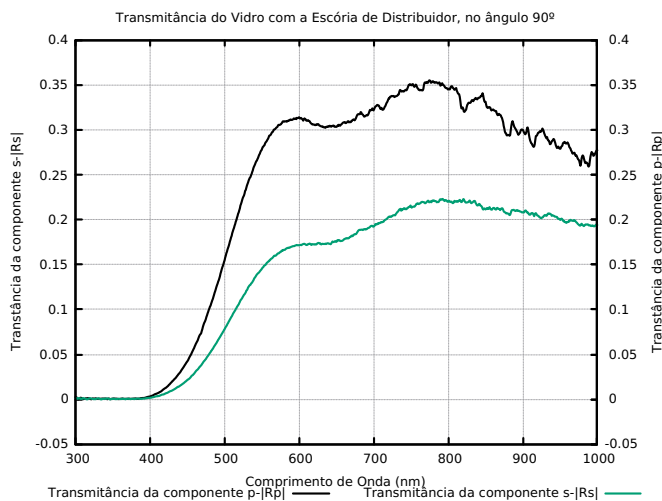


Figura 6. Transmitância versus comprimento de onda do Vidro com a Escória de Distribuidor do Lingotamento. Componente *p* em preto e *s* em verde.

No vidro que contém a escória de distribuidor, em 300*nm* na faixa do *UV* o valor da transmitância é 0, em seguida na faixa do visível ele cresce continuamente e na faixa do

infravermelho há picos e vales em certos comprimentos de onda. Já no vidro que contém escória de aciaria o valor da transmitância encontrado foi próximo de 0, apenas entre 600-900 *nm* que existe pequena elevação do valor.

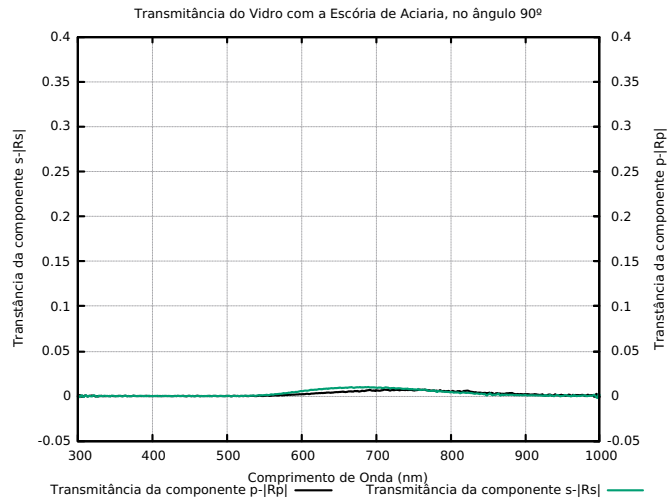


Figura 7. Transmitância versus comprimento de onda do Vidro com a Escória de Aciaria. Componente *p* em preto e *s* em verde.

Ao comparar as medidas realizadas, nota-se que o vidro com a Escória de Aciaria possui uma transmitância muito menor que o vidro que contém a Escória de Distribuidor do Lingotamento.

Uma outra análise fotométrica é a Reflectância presente nessas amostras. Os gráficos relacionam, no eixo das ordenadas, a Reflectância em cada componente (*p* ou *s*) e, no eixo das abscissas, o comprimento de onda (*nm*) no ângulo de 75°. As Fig. 8 e 9 mostram as Reflectâncias, para as componentes *p* e *s* para os vidros com escória de Distribuidor do Lingotamento e de Aciaria, respectivamente.

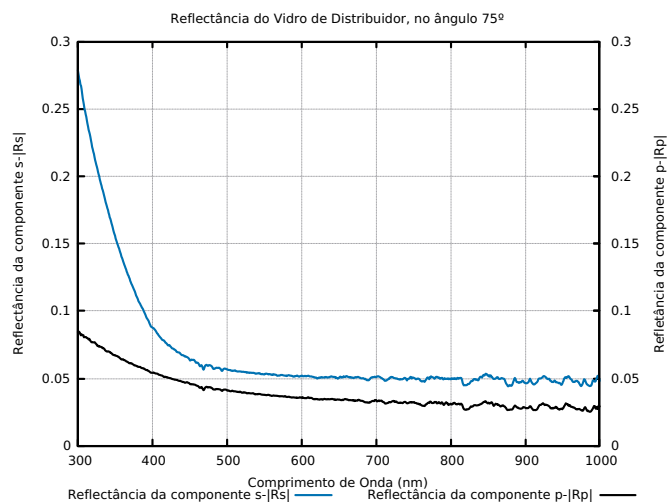


Figura 8. Reflectância versus comprimento de onda do Vidro com a Escória de Distribuidor do Lingotamento, no ângulo de 75°. Componente *p* em preto e *s* em azul.

Os valores da reflectância no vidro com a escória de distribuidor são bem próximos a 0, esses variam pouco no comprimento de onda da luz e visível mantendo-se constante. Já no infravermelho possui modulações observáveis.

- [5] Fujiwara, "H. Spectroscopic Ellipsometry: Principles and Applications". 1a. ed. Tóquio, Japão: John Willey Sons, Ltd, vol. único, 2003.
- [6] DIN (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG).DIN 4768 Determination of Surface Roughness Ra, Rz, R Max, With Electric Stylus Instruments. Deutsches Institut für Normung E.V. (DIN), 1990.

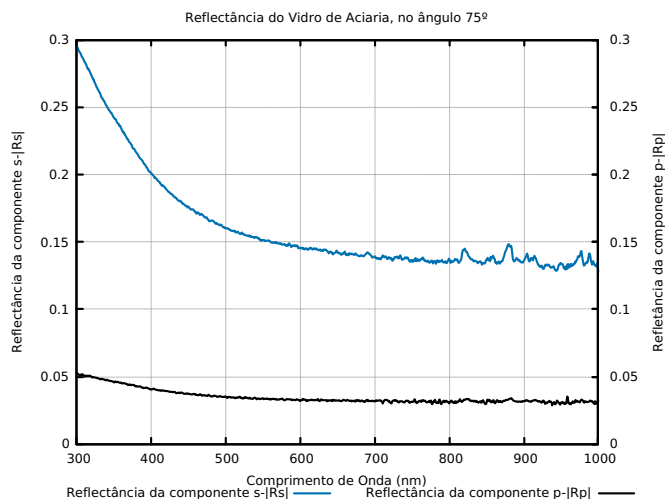


Figura 9. Reflectância versus comprimento de onda do Vidro com a Escória de Aciaria, no ângulo de 75°. Componente p em preto e s em azul.

Para o vidro com escória de aciaria há uma diferença maior da reflectância entre a componente p e s , diferente da Fig.8. Na componente p ela é próxima de 0, para a componente s há a presença de picos na região do infravermelho. Mas para ambos os vidros, a reflectância da componente s é maior que a da componente p .

IV. CONCLUSÕES

Neste trabalho foram sintetizados e caracterizados dois vidros com sílica proveniente de escória e do fornecedor, diferentes em sua composição. Usando a técnica de elipsometria foi possível se obter as propriedades ópticas como o índice de refração e o coeficiente de extinção em função do comprimento de onda. Também foi possível medir, usando o modo fotométrico do elipsômetro, a reflectância e a transmitância dos mesmos. Além disso, com o auxílio do Microscópio Confocal foi possível analisar a rugosidade da superfície dos dois vidros, por consequência fez-se um levantamento topográfico das amostras. Pretende-se aumentar a porcentagem de escória presente na composição nos vidros, a fim de desenvolver uma nova vertente para o uso da mesma.

REFERÊNCIAS

- [1] S. Cirelli Ângulo, E. Sérgio Zordan, and M. Vanderley John, "Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil," São Paulo: SP, 2001.
- [2] E. Bellini Ferreira, E. Dutra Zanotto, and L. Augusto Marconi Schudeller, "Nano vitrocerâmica de escória de aciaria". Química Nova, vol. 25, n. 5, pp. 731-735, 2002.
- [3] L. David Morse, and W. Jeffrey Evenson, "Welcome to the Glass Age". International Journal of Applied Glass Science, vol. 7, n. 4, pp. 409-412, 2016.
- [4] E. Dutra Zanotto, E. D. Mauro ZANOTTO, and C. John "The glassy state of matter: Its definition and ultimate fate." Journal of Non-Crystalline Solids, vol. 471, pp. 490-495, 2017.

Hybrid Composites with Natural Vegetable Fibers

Alexandre Luiz Pereira
PPEMM

CEFET/RJ Campus Angra dos Reis
Angra dos Reis, RJ, Brazil
alexandre.pereira@cefet-rj.br

Jorge de Souza e Silva Neto
PPEMM

CEFET/RJ Campus Maracanã
Rio de Janeiro, RJ, Brazil
jorgesouzanetto@gmail.com

Doina Mariana Banea
PPEMM

CEFET/RJ Campus Maracanã
Rio de Janeiro, RJ, Brazil
mdbanea@gmail.com

Daniel Kioshi Kawasaki Cavalcanti
PPEMM

CEFET/RJ Campus Maracanã
Rio de Janeiro, RJ, Brazil
danielkcc@gmail.com

Rosemere de Araujo Alves Lima
PPEMM

CEFET/RJ Campus Maracanã
Rio de Janeiro, RJ, Brazil
rosemere.raal@gmail.com

Abstract — The main area described in this article is the composite materials, specifically the hybrid composites that use as reinforcement in their matrix the natural fibers. The importance of studying this theme is the search for new materials that can replace traditional engineering materials, combining low cost, low density, resistance to corrosion, low toxicity, and good mechanical resistance, among others. Automotive, aeronautical, marine, sports industries, among others, seek the technology of these materials, due to the advantages mentioned before. In the research of hybrid composites, there are still many gaps, for example, the use of materials found in nature aiming for substituting the petrochemical or synthetic origin fibers reinforcement (such as glass fiber, the most traditional fiber found commercially), which are aggressive to the environment; another gap is the fabrication of intralaminar reinforcement layers, once in literature most of the layers manufactured are interlaminar. Therefore, the main objective of this article is to review the study of hybrid composites with intralaminar reinforcement of vegetable fibers. The plant fibers that will be considered are Sisal, Ramie, Curaua, and Jute. To make a contribution, this work intends to show the importance of the hybrid composite studied, once natural fibers have a lower environmental impact, it is sustainable, and it has technical and economic feasibility in the search of innovative materials for engineering.

Keywords — Natural Fibers, Natural Hybrid Composites, Intralaminar Layers, Sustainability.

I. INTRODUCTION

The main area of this work is the study of composite materials. The composites are combinations of two or more materials, which have different physical properties and with that combination result in final properties better than the isolated components. They are formed of a continuous phase (matrix: it can be polymer, metal, ceramic) and dispersed phase (load or reinforcement: particles, fibers, laminates) [1]. The importance of studying this theme is the search for new materials that can replace the traditional engineering materials, such as steel, concrete, and wood. Some advantages of composites over traditional engineering materials are the combination of low cost, being lighter, low density, corrosion resistance, and it can have the same mechanical strength, and so on [1]. Figure 1 shows a flow diagram of the classification of the composites by the reinforcement type.

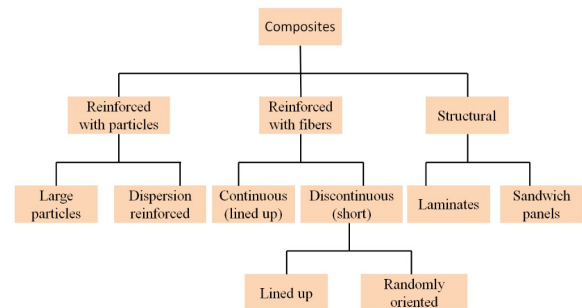


Figure 1 - Scheme of classification by type of reinforcement for the various types of composites (Adapted from [1]).

In this context, hybrid composites are emerging, which are composites with two or more types of natural fibers or combinations of different synthetic and natural fibers, in a single polymer matrix (thermoset, thermoplastic or elastomeric) or different matrices, in order to improve the mechanical properties of the final product [2]. The synthetic fibers may be metallic, ceramic or polymeric and the natural fibers may be animal, mineral or vegetable [2]. For this work, the natural vegetable fiber was chosen as a reinforcement for the hybrid composite fabrication. Figure 2 below shows a schematic of the major reinforcing fibers, their class and some examples of each.

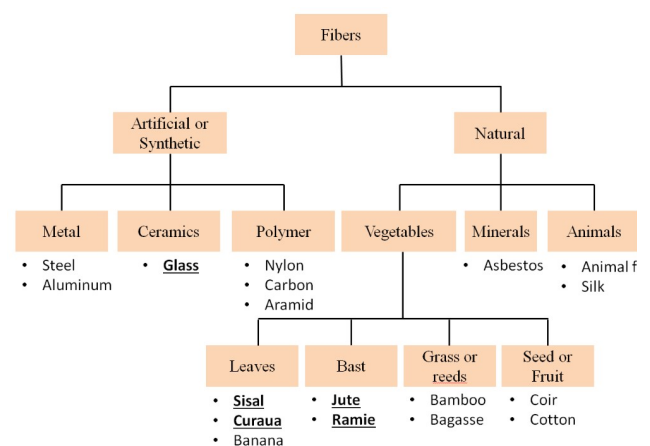


Figure 2 - Scheme of some types of reinforcing fibers for the hybrid composites (Adapted from [3]).

Among the hybrid composites with reinforcing fibers made of vegetable origin, there is a worldwide movement in the production of short fiber hybrid composites and those with the unidirectional fabric superposition of each type of

distinct fiber (continuous unidirectional layers, 0° and 90°, which provide longitudinal stiffness [1]).

This research intends to review the literature on hybrid composites reinforced with vegetable fibers in a single polymer matrix of epoxy resin. The plant fibers to be studied are in bold in Figure 2 (Sisal, ramie, curaua, and jute). The intention is to study plant fibers with similar mechanical properties and with low water absorption for the production of new hybrid composites.

The importance of choosing the vegetable fibers described before as reinforcement for the study of the composites of this work are: 1) There are a lot of plant fibers in many regions of Brazil (other examples are: coconuts fibers, flax, banana, and so on); 2) Plant fibers represents an alternative in the substitution of manufactured synthetic fibers; 3) It is ecologically sustainable (a synthetic fiber can take up to 150 years to decompose in the soil). There is a present concern about the environment and because of that there is a need to use natural fibers in engineering materials; 4) It is economically viable [2]. In addition to these examples, there is an industrial interest in materials that do not harm the environment and are low cost. Also, there is an increasing number of researches on the application of reinforcement fibers of natural origin to substitute for artificial fibers, for example, fiberglass [2], [4], [5], [6], [7].

The hybrid composites present an advantageous change in several industries, for instance, in the production of protective equipment for the sports industry (shin pads, helmets, etc., thus increasing the performance of athletes with the use of a lighter, mechanically resistant material); in the automotive industry (car dashboard); in industries that provide safety and comfort for the end user (ballistic vests), and others, in which they combine lightness with mechanical resistance. Therefore, those industries will reduce production costs through the use of hybrid composites [2], [4], [8], [9].

The use of natural fibers is limited due to their characteristics, for example, high moisture absorption, low thermal resistance and lower mechanical properties when compared to high-performance synthetic fibers. However, these disadvantages are less effective because they can be easily recycled, easily obtained, are low cost, have low density, high versatility and low toxicity, and also, it is possible to use several fibers to form a hybrid set, made of natural fibers as well as with as synthetic fibers, resulting in a final composite with superior properties to the composites with only one type of fiber [10], [11], [12].

It is important to highlight that many researchers are also using other techniques in the study of hybrid composites to complement the experimental data and theoretical analysis, such as Digital Image Correlation Method (DIC) which is a method that measures the deformation field of the test body and has no contact with the material) and Finite Element Method (FEM) that is a computational numerical method that discretizes a continuous problem to find an approximate solution [13], [14], [15].

To justify this work, the synthetic fibers present a high cost and high environmental impact, in their production as well as in their difficulty in recycling, besides, they have high toxicity. Consequently, vegetal fibers are an excellent alternative due to their low environmental impact, and low cost of production and mechanical properties [16], [17].

From the environmental and economical point of view, hybrid composites with vegetal fibers show a complete use of their fibers and are low cost compared to synthetic fibers. Their manufacturing is simple and inexpensive, which results

in a final product of low cost and great competitive capacity, thus, being economically advantageous their implantation in local industries [16], [17].

Therefore, this article does not aim to study only the hybrid composites with reinforcements of vegetable fibers, but also aims to show that the use of these fibers has an impact on the environmental, economical, technological and energy context for the development of poor communities in Brazil [16], [17].

In spite of some researchers have been already working with plant fibers [18], [19], [20], some gaps still exist in the study of hybrid composites with vegetable fiber reinforcement, for instance, finding combinations of materials that in the end have an excellent energy efficiency; using materials found in nature in order to substitute materials of petrochemical origin (for example fiberglass, which is a more traditional and widely traded synthetic fiber), for them, once natural materials connect economic viability and environmental benefits, helping in the disposal of residues in the environment; studying and using several plant fibers, once there are a lot of types in nature; manufacturing intralaminar vegetable fibers layers, and so on.

The following part of this article is an introduction to the plant fibers studied: sisal, ramie, curaua, and jute, respectively.

II. VEGETABLES FIBERS

Sisal (*Agave sisalana*) is a plant originated in Central America, specifically Mexico. In Brazil, the main producers are in the state of Paraíba and Bahia. It has adapted well to Brazil, once it is resistant to aridity and intense sun of those northeast states. Fibers are removed from its leaves to make ropes, yarns, carpets, etc. Curiously, sisal is the hardest plant fiber that exists. In Figure 3, there is an image of sisal plant [21].



Figure 3 - A Representative image of the plant that removes the sisal fiber [21].

Ramie (*Boehmeria nivea*) originates in East Asia. It was brought to Brazil in 1939, in the state of São Paulo. Its fibers are removed from the stem and its production is used to manufacture fabrics, ropes, twine, also, it provides cellulose for paper money, it serves as reinforcement in the manufacturing of hoses, tires, parachute wires, etc. In Figure 4, there is a picture of ramie plant [22].



Figure 4 - A representative image of the plant that removes the ramie fiber [22].

Curaua fiber (*Ananas sativus*) comes from an Amazonian plant belongs to the same family as pineapple. It looks like sisal, once it has a high mechanical resistance. The fiber of curaua to be a promising substitute for fiberglass because the latter is difficult to dispose of and recycle [16], [17], [18], [19], [20], [23]. In Figure 5, there is an image of the plant curaua fiber is taken from.



Figure 5 - A representative image of the plant that removes the curaua fiber [23].

Jute (*Corchorus capsularis*) was brought from India to Brazil in 1930 by Japanese immigrants. Since then, it has become one of the main economic activities of the Amazon river communities. The useful fiber is removed from the plant's bark and stalk [24]. Figure 6 shows an image of the plant that provides the jute fiber.



Figure 6 - A representative image of the plant that removes the jute fiber [25].

Table 1 shows the mechanical parameters and the average prices of the vegetable fibers being used in this work as well as it presents the synthetic glass fiber (the most traditional synthetic fiber found in the market) for comparison.

Table 1 - Mechanical parameters and approximate price of natural vegetable fibers for this work and synthetic glass fiber [3], [26].

Vegetables fiber	$\rho(g/cm^3)$	$\sigma(MPa)$	$E(GPa)$	preço(kg ⁻¹)
Sisal	1,50	511 - 635	9,4 - 22	~\$0,6
Ramie	1,50	560	24,5	~\$2,0
Curaua	1,40	500 - 1150	11,8	~\$0,4 - 0,5
Jute	1,30	393-773	26,5	~\$0,9
Synthetic fiber	$\rho(g/cm^3)$	$\sigma(MPa)$	$E(GPa)$	preço(kg ⁻¹)
E-glass	2,5	2000 - 3500	70 - 73	~\$2

Thus, this work intended to bring an introduction to the composites' aspects, specifically in hybrid composites reinforced with vegetable fibers.

III. CONCLUSION

This paper presented an introduction of composites, specifically to hybrid composites. The importance of studying plant fibers is that they are sustainable, have economical and technical feasibility and are widely available in Brazil. Sisal, ramie, curaua and jute vegetable fibers were chosen for the analysis of this work in order to reinforce the hybrid composites.

The work will be continued to find out improvements of the physical properties of the hybrid composite reinforced

with vegetal fibers in comparison with a hybrid composite with reinforcement of glass fiber (a more traditional fiber found in the market). Thus, the future results intend to show applications and suggest the use of the hybrid composite material as a substitution of the traditional engineering materials, once the former has a lower environmental impact and economic viability in the search for innovative materials.

With this initial work, it was aimed at improving and advancing in the study of those materials, showing the importance of this study, within the environmental and sustainable context as an innovative engineering material.

ACKNOWLEDGMENTS

Alexandre L. Pereira thanks the Federal Center for Technological Education Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ) for the support received and the Post-Graduation Program in Mechanical Engineering and Materials Technology (PPEMM) of CEFET / RJ for the opportunity to realize this work.

REFERENCES

- [1] CALLISTER, W. D. Materials Science and Engineering: An Introduction. John Wiley & Sons, 2000.
- [2] SPINACÉ, M. A. S. Compósitos poliméricos com fibras vegetais: Produção dos compósitos, tipos, propriedades, aplicações, desafios, limitações e perspectivas. II Simpósio da Faculdade SENAI: Compósitos poliméricos e a dimensão ambiental. São Bernardo do Campo, SP, 2015.
- [3] NAYAK, S. K.; MOHANTY, S.; GURUNATHAN, T. A review of the recent developments in biocomposites based on natural fibres and their application perspectives. Composites: Part A, 77, 1-25, 2015.
- [4] CALEGARI, E.; FREITAS, B. Compósitos a partir de materiais de fontes renováveis como alternativa para o desenvolvimento de produtos. Sustentabilidade em Debate – Brasília, v. 7, n. 1, p. 140-155, 2016.
- [5] CARVALHO, L. H.; CAVALCANTI, W. S. Propriedades Mecânicas de Tração de Compósitos Poliéster/Tecidos Híbridos Sisal/Vidro. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 16, nº 1, p. 33-37, 2006.
- [6] WAMBUA, P.; IVENS, J.; VERPOEST, I. Natural fibres: can they replace glass in fibre reinforced plastics? Composites Science and Technology, 63, 1529-1264, 2003.
- [7] GUNDUZ, G.; EROL, D.; AKKAS, N. Mechanical Properties of Unsaturated Polyester-Isocyanate Hybrid Polymer Network and Its E-Glass Fiber-reinforced Composite. Journal of Composite Materials, vol. 39, nº17, 1577 – 1589, 2005.
- [8] SANJAY, M. P. et al. Potential of natural/synthetic hybrid composites for aerospace applications. Sustainable Composites for Aerospace Applications, p. 315-351, 2018.
- [9] TJONG, J. et al. Natural fibers and hybrid fiber thermoplastic composites: Advancements in light weighting applications. Green Composites, p. 39-72, 2017.
- [10] MOHANTY, A. K. et al. Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites: An Introduction. Taylor & Francis, 2005.
- [11] TONG, L.; MOURITZ, A. P.; BANNISTER, M. K. 3D Fibre Reinforced Polymer Composites. Elsevier, 2002.
- [12] BUNSELL, A. R. Handbook of tensile properties of textile and technical fibres. Woodhead Publishing Limited, 2009.
- [13] SILVA, F. de A. et al. High speed tensile behavior of sisal fiber cement composites. Materials Science and Engineering A, 527, 544-552, 2010.
- [14] JAUHARI, N.; MISHRA, R.; THAKUR, H. Natural fibre reinforced composite laminates – A review. Materials today: Proceedings, 2, 2868 – 2877, 2015.
- [15] IMAM, S.; JOSEPH, A. Analysis of Hybrid Natural Fiber Composite Material by using Finite Element Analysis. IJARIE, vol. 4, 2, 2018.
- [16] FERREIRA, G. C. et al. Produtos e serviços ambientais do cultivo do curauá (*Ananas comosus* var. *erectifolius* (L. B. Sm.) Coppens & F. Leal, Bromeliaceae) em plantio florestal. Embrapa Amazônia Oriental. Separatas, 2011.

IV Congresso Ibero-Americano de Empreendedorismo, Energia, Ambiente e Tecnologia

- [17] CORDEIRO, I. M. C. C. et al. Cultivo e produção agroambiental sustentável de curauá no Nordeste Paraense-PA. Embrapa Amazônia Oriental. Separatas, 2011.
- [18] ALEXANDRE, M. E. de O. et al. Materiais compósitos poliméricos reforçados com a fibra da folha do abacaxizeiro. V CONNEPI – Congresso Norte-Nordeste de Pesquisa e Inovação, Maceió/Alagoas, 2010.
- [19] MONTEIRO, S. N. et al. Comportamento mecânico e características estruturais de compósitos poliméricos reforçados com fibras contínuas e alinhadas de curauá. Revista Matéria, v. 11, nº 3, p. 197-203, 2006.
- [20] TAKAHASHI, R. et al. Fabricação de mantas de fibras de sisal e de curauá para fabricação de material compósito. XXXIX Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE 2011), Blumenau, SC, 2011.
- [21] Imagem representativa da planta que retira a fibra de sisal. <https://pt.wikipedia.org/wiki/Sisal>. Acesso em 30/07/2018.
- [22] Imagem representativa da planta que retira a fibra de rami. <https://pt.wikipedia.org/wiki/Rami>. Acesso em 30/07/2018.
- [23] Imagem representativa da planta que retira a fibra de curauá. <http://revistapesquisa.fapesp.br/2004/10/01/fibra-para-toda-obra/>. Acesso em 30/07/2018.
- [24] <https://www.ecodebate.com.br/2014/02/10/produtores-ribeirinhos-pedem-socorro-o-caso-da-juta-no-para-artigo-de-joao-de-deus-barbosa-nascimento-junior/>. Acesso em 18/08/2018.
- [25] Imagem representativa da planta que retira a fibra de juta. <http://www.castanhal.com.br/a-juta.html>. Acesso em 18/08/2018.
- [26] FARUK, O. et al. Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000 - 2010. Progress in Polymer Science, 37, 1552-1596, 2012.

Estudo de um Sistema Fotovoltaico de 45kWp Conectado à Rede e sua influência na Qualidade de Energia Elétrica no Ponto Comum de Conexão

Ozlean de Lima Dantas¹; Roberto Apolonio²; Alcides Arruda Junior³;
Mestrando em Engenharia de Edificações e Ambiental¹³
Professor Doutor, Departamento de Engenharia Elétrica²
Universidade Federal de Mato Grosso
Cuiabá, Brasil
ozlean.dantas@gmail.com¹
r_apol@hotmail.com²
Juninhox5@gmail.com³

Resumo — Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede vem cada vez mais ganhando espaço no Brasil. Isto é fruto de uma política energética regulatória iniciada em 2012, expansão mundial dessa tecnologia e o alto potencial técnico disponível no país. Este trabalho apresenta uma avaliação quantitativa do impacto de uma usina fotovoltaica de 45kWp conectada à rede elétrica em relação a violação dos parâmetros de qualidade de energia elétrica. Os parâmetros analisados no ponto comum de conexão da instalação foram: perfil de tensão, fator de potência, distorção harmônica, desequilíbrio, frequência e variação de tensão de curta duração. Os dados foram avaliados e comparados com os limites estabelecidos pelo Módulo 8 do Procedimento de Distribuição da Agência Nacional de Energia Elétrica.

Palavras-chaves — SFCR, Energia Renovável, Energia Fotovoltaica.

I. INTRODUÇÃO

Na última década, a energia renovável ganhou espaço com aumento da capacidade instalada e na produção de energia. Tanto que, em 2012, esta expansão ficou bem evidente quando a capacidade instalada anual de energia renovável superou as não renováveis e seguiu crescendo [1]. Dentre as energias renováveis em expansão, destaca-se muito a energia fotovoltaica (FV) que tem crescido rapidamente no mercado mundial. Isto fica evidente na capacidade líquida global adicionada de energia FV que cresceu 297GW entre 2006 e 2016 [2].

Conforme o relatório da [3], para um horizonte de 5 anos (2017-2021), afirma que em todos os cenários analisados (baixo, médio e alto) ficou evidente a expansão mundial da energia FV. Para o Brasil o cenário também é bem positivo, fruto de uma política energética regulatória para acesso da microgeração e minigeração distribuída e o sistema de compensação das energias renováveis iniciada em 2012 com a Resolução Normativa da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL [4] e suas atualizações [5] e [6].

Segundo dados do [7] e [8], na última década, a energia FV tem crescido no Brasil, porém está aquém do aproveitamento deste potencial. Conforme os dados da [9], estima-se que o Brasil tenha um elevado potencial técnico de energia FV da ordem 28.683GW. Consoante a isto, dados do [10], destacam que o Brasil possui um alto nível e uma baixa variabilidade de irradiação solar, requisitos importantes na instalação de sistemas FV, em comparação a países que detêm a tecnologia solar bem desenvolvida, como Alemanha, Itália, Espanha, França e Portugal.

Diante deste cenário de estimativa positiva de crescimento da FV na matriz energética brasileira nos próximos anos, torna-se necessário o estudo e domínio dessa tecnologia e seus impactos no sistema elétrico brasileiro.

Além disso, cabe destacar a importância do estudo dos impactos na penetração dessa tecnologia nas várias redes de distribuição do Brasil quanto a Qualidade de Energia Elétrica (QEE), para que não ocorra violação dos limites de QEE estabelecidos pela ANEEL.

Nesse sentido, os autores [11], [12], [13] e [14], declaram que a Geração Distribuída, como é o caso da geração FV, representa um grande desafio para a distribuidora, pois altera um sistema elétrico planejado para operar de forma radial no sentido concessionária-carga e passa a trabalhar em ambos os sentidos e, conseqüentemente, há alteração na QEE. Com a mudança no sentido de fluxo de potência a variação de tensão também pode ser vista nos dois lados.

Na revisão feita por [15] e nos estudos de [16] e [14], chamam atenção para os impactos da distorção harmônica da forma de onda de corrente e tensão são oriundos do chaveamento dos semicondutores dos inversores do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR) na conversão de corrente contínua para sincronizar com a fonte principal de corrente alternada.

Ainda nos estudos de [14], infere que a Distorção Harmônica de Tensão (DTT) quando se avalia um SFCR é desprezível, porém com um grande número de SFCR pode elevar o DTT da rede da concessionária. Além do mais, destaca que deve ser analisado os dados de cada SFCR e da rede de distribuição como um todo.

Nos estudos de [17], destacam o impacto do Fator de Potência (FP) e concluíram que o comportamento do FP é em função do nível de penetração do SFCR. O FP pode ser nulo quando a geração do SFCR é igual ao consumo da carga exigida e torna-se negativo para excedentes de geração. Consoante a isto, [18] avalia nos seus estudos o FP em um SFCR e considera o consumo de potência reativa constante. Assim, conclui que diminuindo o módulo da diferença entre a potência gerada e consumida, menor será o FP da instalação.

Assim, este artigo tem por objetivo realizar uma avaliação quantitativa do impacto de uma usina FV de 45kWp conectada à rede elétrica em relação a violação dos parâmetros de QEE regulamentados pela ANEEL no [19].

II. DISTURBIOS DA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA

A. Requisitos de QEE da ANEEL

Na verificação dos impactos da penetração da energia FV, os parâmetros de QEE devem ser atendidos para o bom funcionamento da rede de distribuição. Neste sentido, a ANEEL através do [20], que trata do acesso de microgeração e minigeração distribuída, informa que os parâmetros de QEE a serem adotados são os descritos no [19].

Nesse último procedimento tem-se os limites ou valores de referência de QEE para fins de acesso aos sistemas de distribuição. Os procedimentos de QEE definidos no [19] devem ser observados por consumidores com instalações conectadas em qualquer classe de tensão de distribuição.

As análises dos fenômenos de QEE tratados pelo [19] são os em regime permanente ou transitório. No que se refere ao regime permanente tem-se: a tensão em regime permanente, fator de potência, harmônicos, desequilíbrio de tensão, flutuação de tensão e variação de frequência. No regime transitório tem-se as variações de tensão de curta duração.

B. Tensão em Regime Permanente

O sistema de distribuição deve atuar de forma preventiva para que a tensão em regime permanente se mantenha dentro dos padrões adequados. Na regulação das tensões de atendimento ao consumidor com tensão inferior a 1kV, a faixa adequada de tensão deve situar entre 92% e 105% da tensão de referência da rede de distribuição. A Tabela I apresenta as faixas de classificação de tensões de regime permanente para pontos de conexão em tensão nominal igual ou inferior a 1kV (220/127).

TABELA I. PONTO DE CONEXÃO EM TENSÃO NOMINAL IGUAL OU INFERIOR 1kV (220/127)

Tensão de Atendimento	Faixa de variação da tensão de leitura (TL) (Volts)
Adequada	$(202 \leq TL \leq 231) / (117 \leq TL \leq 133)$
Precária	$(191 \leq TL < 202 \text{ ou } 231 < TL \leq 233) / (110 \leq TL < 117 \text{ ou } 133 < TL \leq 135)$
Crítica	$(TL < 191 \text{ ou } TL > 233) / (TL < 110 \text{ ou } TL > 135)$

Fonte: [19].

C. Fator de Potência

Este parâmetro é calculado a partir dos valores registrados das potências ativa (P) e reativa (Q), ver equação (1). Logo, o FP no PCC da unidade consumidora deve estar entre 0,92 e 1,00 indutivo ou 1,00 e 0,92 capacitivo.

$$FP = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad (1)$$

D. Distorção Harmônica

São fenômenos associados a deformações nas formas de onda das tensões e correntes em relação à onda senoidal da frequência fundamental. Os limites das distorções harmônicas totais em relação a tensão fundamental para tensões inferiores a 1kV estão detalhados na Tabela II.

TABELA II. LIMITES DAS DISTRORÇÕES HARMÔNICAS TOTAIS (% DA TENSÃO FUNDAMENTAL)

Indicador	Tensão nominal
	$V_n \leq 1,0kV$
DTT _{95%} ^a	10,0%
DTT _{95%} ^b	2,5%

DTT _{95%} ^c	7,5%
DTT _{95%} ^d	6,5%

^a Distorção harmônica total de tensão (DTT95%), ^b Distorção harmônica total de tensão para as componentes pares não múltiplas de 3 (DTT95%), ^c Distorção harmônica total de tensão para as componentes ímpares não múltiplas de 3 (DTT95%), ^d Distorção harmônica total de tensão para as componentes múltiplas de 3 (DTT395%). Fonte: [19].

A expressão para o cálculo da grandeza de distorção total de tensão DTT% é expresso na equação (2):

$$DTT\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}} V_h^2}}{V_1} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

h: todas as harmônicas de 2 até h_{max} ;

h_{max} : conforme a classe A ou S (Método de medição Classe A ou S, conforme norma vigente da IEC 61000-4-30).

E. Desequilíbrio de Tensão

É a diferença verificada nas amplitudes entre as três tensões de fase de um determinado sistema trifásico, e/ou na defasagem elétrica entre as tensões de fase do mesmo sistema. Normalmente utiliza-se os valores das tensões de linha para o cálculo do fator de desequilíbrio. O limite de desequilíbrio de tensão para tensão nominal inferior a 1,0kV é de até 3,0%. A expressão para o cálculo do desequilíbrio de tensão é dada na equação (3):

$$FD\% = \frac{V_-}{V_+} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

FD% fator de desequilíbrio de tensão em (%);

V. Magnitude da tensão eficaz de sequência negativa na frequência fundamental;

V_+ Magnitude da tensão eficaz de sequência negativa na frequência fundamental;

F. Variação de Frequência

A rede de distribuição deve operar com frequência dentro dos limites situados entre 59,9Hz e 60,1Hz. Porém, na ocorrência de distúrbios essa faixa pode ser ampliada para 59,5Hz e 60,5Hz por 30 minutos, até que se recupere o equilíbrio carga-geração. Em situações de corte de geração ou de carga, a frequência pode operar nos seguintes limites da Tabela III:

TABELA III. LIMITES DE OPERAÇÃO DA FREQUÊNCIA

Subfrequência		Sobrefrequência	
Frequência	Tempo (s)	Frequência	Tempo (s)
58,5	10	62	30
57,5	5	63,5	10
56,5	Instantânea	66	Instantânea

Fonte: Adaptado de [19].

G. Variação de Tensão de Curta Duração

São caracterizados por desvios significativos na amplitude do valor eficaz da tensão num intervalo entre 16,67ms (1 ciclo) e 3 minutos. São classificados em variação momentânea de tensão e variação temporária de tensão. Estas se subdividem em interrupção temporária ou momentânea, afundamento momentâneo ou temporária de tensão e elevação momentânea ou temporária de tensão.

A Tabela III apresenta a classificação das variações de tensão de curta duração (VTCD).

TABELA III. CLASSIFICAÇÃO DAS VARIAÇÕES DE TENSÃO DE CURTA DURAÇÃO

Classificação	Denominação	Duração da Variação	Amplitude da tensão (valor eficaz) em relação à tensão de referência
Variação Momentânea de Tensão	Interrupção Momentânea de Tensão	$t \leq 3s$	$V < 0,1p.u$
	Afundamento Momentâneo de Tensão	$1 \text{ ciclo} \leq t \leq 3s$	$0,1p.u < V < 0,9p.u$
	Elevação Momentânea de Tensão		$V > 1,1p.u$
Variação Temporária de Tensão	Interrupção Temporária de Tensão	$3s \leq t \leq 3min$	$V < 0,1 p.u$
	Afundamento Temporário de Tensão		$0,1p.u < V < 0,9 p.u$
	Elevação Temporária de Tensão		$V > 1,1 p.u$

Fonte: Adaptado de [19].

III. MATERIAIS E MÉTODOS

A. Usina FV

A Fig. 1 ilustra o diagrama unifilar da usina FV de 45kWp que está localizada no Centro Sebrae de Sustentabilidade (CSS), no Brasil, no município de Cuiabá-MT. Esta instalação apresenta um perfil de carga comercial, com maior demanda durante os dias úteis.

Os arranjos dos painéis da usina estão instalados como cobertura de um estacionamento de veículos leves no pátio do CSS formando um sistema BIPV (*Building Integrated Photovoltaic System*).

Esta usina contém 3 inversores de 15kW cada, conectados à rede da concessionária local, com saída em corrente alternada na baixa tensão 380V/220V e um total de 180 painéis FV. Há também um transformador de acoplamento de 45kVA, exclusivo para a usina, que fornece energia para o CSS e à rede da concessionária local.

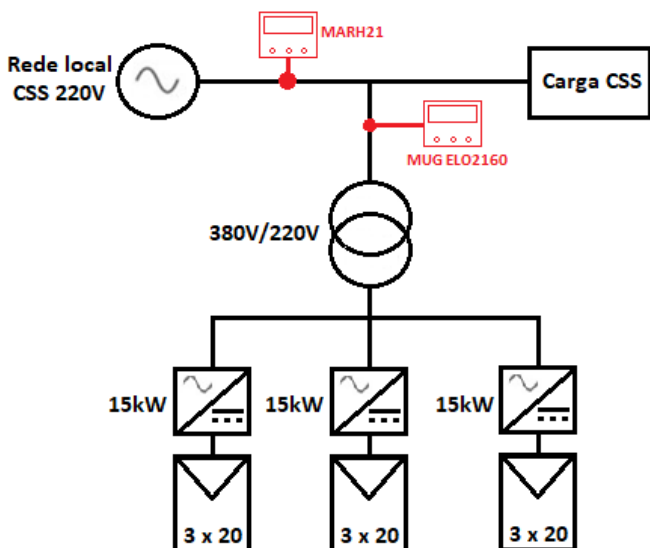


Fig. 1. Diagrama unifilar da Usina FV de 45kWp.

B. Medição

Para a realização deste trabalho foi utilizado um registrador de grandezas elétricas modelo RMS MARH-21 993T. O registrador foi instalado no ponto comum de conexão (PCC) do CSS. Outro medidor de grandezas elétricas modelo MUG ELO2160 foi instalado no secundário do transformador de acoplamento. As medições foram configuradas em intervalos integrados de 10 minutos e no período de uma semana entre os dias 20 e 26 de maio de 2018, conforme [19].

Os resultados da medição foram analisados escolhendo um dia útil com maior demanda e um dia do final de semana com menor consumo da instalação.

Por fim, a partir dos dados obtidos, as seguintes grandezas elétricas foram analisadas: perfil de tensão, frequência, distorção harmônica total de tensão, desequilíbrio, fator de potência e a demanda. E, comparados com base nos limites de QEE do [19].

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico serão apresentados os resultados das medições que foram realizadas no PCC da instalação com uma usina FV de 45kWp.

A. Perfil de tensão

A Fig. 2 ilustra o perfil de tensão média da instalação das fases A, B e C, durante um dia útil e um dia do final de semana.

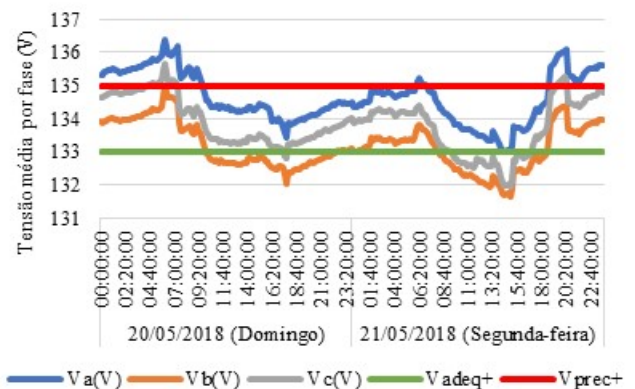


Fig. 2. Perfil de tensão média por fase do CSS

Observa-se que o perfil de tensão da instalação é elevado e os valores médios estão em boa parte do tempo acima dos limites superiores das faixas adequada ($>133V$) e precária ($>135V$) estabelecidos no [19].

As tensões são mais altas durante a noite e diminuem durante o dia mesmo com a usina FV em operação, o que nos mostra que a usina pouco interfere na tensão da rede da concessionária. No transformador da concessionária que alimenta a unidade consumidora faz-se necessário efetuar ajustes no seu *tap*, a fim de diminuir a tensão. E, nenhuma das fases estão sobrecarregadas, pois os valores absolutos de tensão estão bem próximos.

Cabe destacar, que durante a medição não se verificou VTCD, mantendo os valores da tensão dentro dos limites $0,90pu < V < 1,1pu$ conforme o [19]. Isto é ilustrado na Fig. 3 onde apresenta a tensão média, máxima e mínima da fase A expresso em (pu).

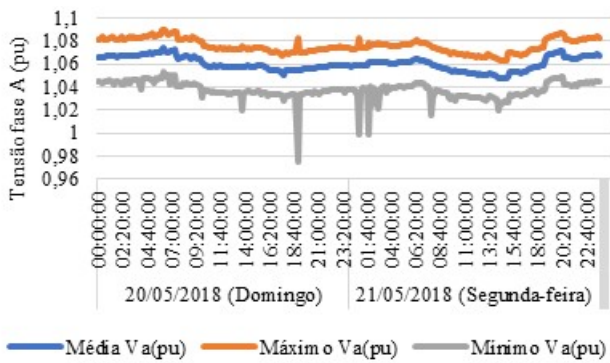


Fig. 3. Perfil de tensão média, máxima e mínima da fase A em (pu).

B. Frequência

A Fig. 4 ilustra o comportamento da frequência medida no PCC do CSS. Observa-se que a frequência se manteve na maior parte do tempo dentro dos limites mínimos e máximos 59,9Hz e 60,1Hz, respectivamente, conforme [19].

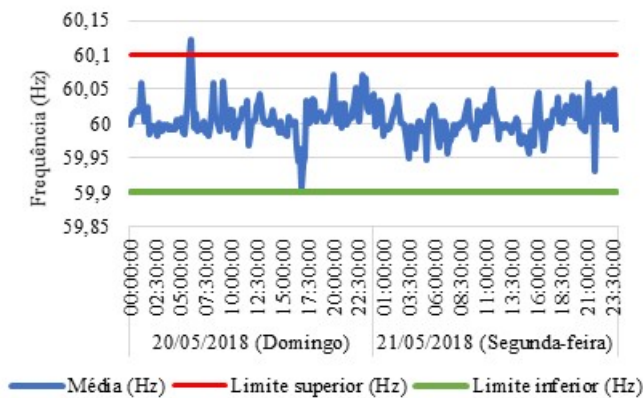


Fig. 4. Frequência da instalação.

Porém, houve um registro de violação de frequência acima do limite máximo às 06:00 do dia 20 de maio de 2018 (Domingo) de 60,12Hz, mas a usina estava fora de operação. Assim, durante a operação da usina a frequência medida no PCC da instalação manteve-se dentro dos limites do [19].

C. Distorção Harmônica Total de Tensão

Segundo o [19], o limite máximo da DTT (%) é de até 10% para tensões inferior a 1kV. Na Fig. 5 verifica-se que não houve violação desse limite em nenhuma das fases medidas no PCC da instalação.

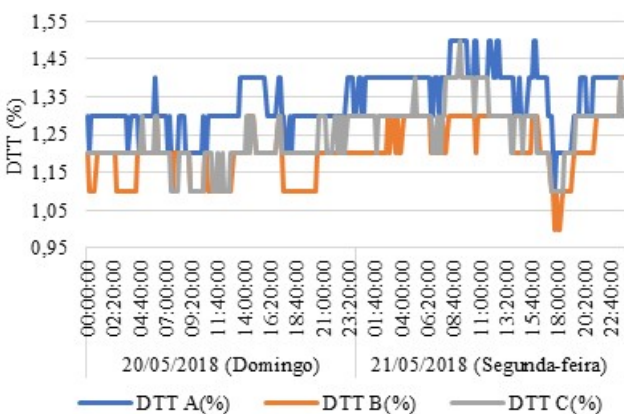


Fig. 5. DTT (%) das fases A, B e C.

O valor máximo registrado de DTT (%) foi de 1,5% e houve pouca variação da DTT (%) entre fases.

D. Desequilíbrio

De acordo com o procedimento do [19] para tensões inferiores a 1kV o fator de desequilíbrio (FD) é de até 3,0%. Na avaliação do gráfico da Fig. 6, tem-se que o FD% máximo foi de 0,64%, ou seja, bem abaixo do limite estabelecido no procedimento.

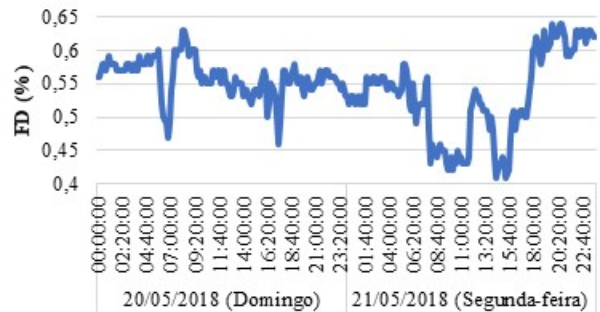


Fig. 6. Fator de desequilíbrio (%).

E. Fator de Potência

O FP do CSS varia ao longo do dia com a usina em operação, com valores indutivos da carga a noite e valores capacitivos próximos da unidade com a usina injetando excedentes de potência ativa.

A Fig. 7 apresenta o perfil do FP do CSS com os limites de FP 0,92 indutivo e capacitivo definidos no [19].

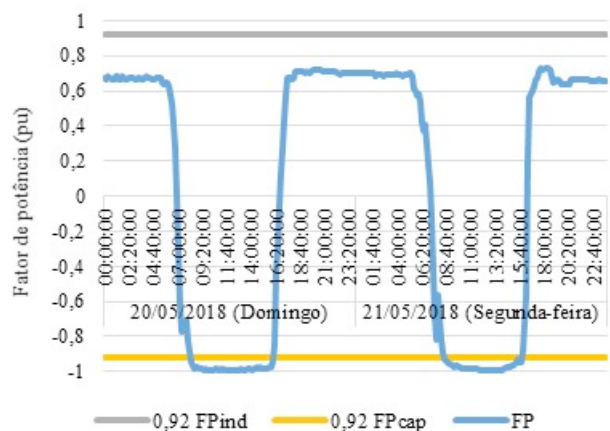


Fig. 7. Fator de potência (pu).

No período noturno o FP é positivo e tem valores baixos entre 0,6 e 0,7pu. Quando a usina entra em operação ocorre uma inversão no sentido do FP. Onde verifica-se que o FP é próximo zero quando o módulo da diferença da potência gerada e consumida é pequena, condizente com os estudos dos autores [18] e [17].

Além disso, com a usina injetando excedentes de potência ativa na rede o FP ficou negativo com valores próximos da unidade, conforme verificado por [17].

F. Demanda

Na ilustração da Fig. 8, tem-se a curva do consumo da instalação, da energia gerada da usina e os excedentes da geração verificados no PCC.

A curva da energia gerada na usina no domingo é menor do que na segunda-feira, devido as condições meteorológicas naquele dia com céu nublado e ocasionando sombreamento dos painéis FV.

Enquanto na Fig. 9, tem-se os valores totalizados ilustrados nas barras de consumo da instalação (cinza), da energia gerada da usina (azul) e os excedentes da geração verificados no PCC (laranja).

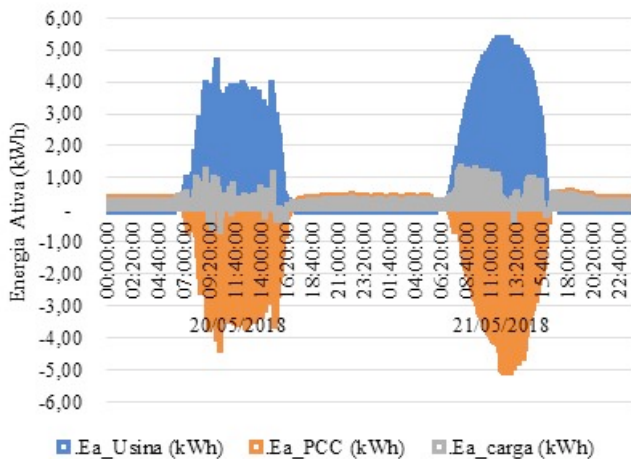


Fig. 8. Consumo do CSS mais a geração da usina (kWh).

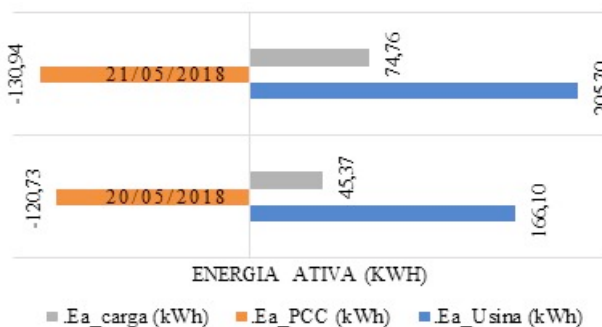


Fig. 9. Valores totalizados do consumo, geração e excedentes (kWh).

A carga da instalação tem perfil comercial e sua usina FV atende seu consumo e gera excedentes. No domingo aproximadamente 72% da geração da usina foi convertida em exportação. Na segunda-feira esse valor atingiu 63% mesmo havendo maior consumo da instalação e também houve maior geração.

V. CONCLUSÕES

Este trabalho consistiu na avaliação quantitativa de grandezas elétricas no PCC de uma instalação com uma usina FV de 45kWp e os impactos dessa geração na QEE. Os dados da medição foram estudados e comparados com os procedimentos do [19] e forneceram as seguintes conclusões:

- A tensão no PCC da instalação é elevada e mesmo com a usina operando pouco interferiu na tensão da rede.
- Verifica-se a necessidade de ajustes no *tap* do transformador da concessionária que alimenta a unidade consumidora a fim de diminuir a tensão no PCC.
- Não houve violação dos limites de VTCD.

- A frequência manteve-se dentro dos limites normativos com a usina em operação.
- A distorção harmônica total de tensão manteve-se todo tempo bem abaixo dos 10%.
- O FP variou ao longo do dia com a usina em operação. Quando a usina gerou potência ativa equivalente a potência consumida do CSS o valor do FP ficou próximo de zero. E, manteve-se com valor negativo e muito perto da unidade com excedentes de potência ativa.
- Nota-se que a usina gerando excedentes de energia está trabalhando com o FP bem próximo da unidade, de acordo com a configuração do fabricante dos inversores para o FP igual a 1.

Desta forma, ao analisar a instalação mais a usina FV em operação verifica-se que obedece aos critérios de QEE, com exceção da tensão que requer ajustes no *tap* do transformador da concessionária que alimenta a unidade consumidora.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Universidade Federal de Mato Grosso e do Centro Sebrae de Sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

- [1] INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. "Accelerating the global energy transformation". International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2017, ISBN 978-92-95111-06-6 (PDF). Disponível em: <https://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_RE_thinking_Energy_2017.pdf>. Acessado em: 21 fev. 2018.
- [2] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY PHOTOVOLTAIC POWER SYSTEMS PROGRAMME. "Snapshot of Global Photovoltaic Markets", Survey report Global Photovoltaic (1992-2016), 2017, ISBN 978-3-906042-58-9. Disponível em: <http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/IEA-PVPS_-_A_Snapshot_of_Global_PV_-_1992-2016__1_.pdf>. Acessado em: 02 fev. 2018.
- [3] SOLAR POWER EUROPE. "Global Market Outlook for Solar Power 2017-2021". Bélgica, 07/2017. Disponível: <<http://www.solarpowereurope.org/reports/global-market-outlook-2017/>>. Acessado em: 08 fev. 2018.
- [4] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. "Resolução Normativa nº 482". Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. 17 abr. 2012.
- [5] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. "Resolução Normativa nº 687". Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. 24 nov. 2015.
- [6] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. "Resolução Normativa nº 786". Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. Diário Oficial da República Federativa do Brasil nº205, de 25 out. 2017.
- [7] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. "Energia Solar no Brasil e no Mundo, ano de referência 2016". Brasília, 2017. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/17+-+Energia+Solar+-+Brasil+e+Mundo+-+ano+ref.+2015+%28PDF%29/4b03ff2d-1452-4476-907d-d9301226d26c;jsessionid=41E8065CA95D1FABA7C8B26B66878C9.srv154>>. Acessado em: 28 fev. 2018.
- [8] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. "Banco de Informações de Geração". Brasília, 2018. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>>. Acessado em: 24 fev. 2018.

- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR. “Sessão Especial III: A Expansão do Mercado Solar Fotovoltaico no Brasil”, Salvador-BA, Brasil, 2017. Disponível em: <http://viex-americas.com/2016/wp-content/uploads/2017/12/Rodrigo_Sauaia-III-ABSOLAR.pdf>. Acessado em: 25 fev. 2018.
- [10] INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. “Atlas Brasileiro de Energia Solar”, 2. ed. São José dos Campos, INPE, 2017, ISBN 978-85-17-00089-8. Disponível em: <http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao.pdf>. Acessado em: 02 mar. 2018.
- [11] LUIZ, C. M. “Avaliação dos Impactos da Geração Distribuída para Proteção do Sistema Elétrico”. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.
- [12] SOUZA, M. E. M.; VALE, M. H. M.; CHAGAS, E. H. P. B.; COSTA, S. C. S.; ZILLES, R. “Projeto 120 Telhados – Inserção de Micro-Geração Distribuída nas Redes de Baixa Tensão: Implantação de Telhados Solares em Sete Lagoas”. Revista Brasileira de Energia Solar, Vol. V, nº 2, 2014, p. 137-146.
- [13] GOMES, J. P. R. “Avaliação dos Impactos da Integração da Usina Fotovoltaica do Mineirão à Rede Elétrica Frente a Afundamentos de Tensão”. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, 2015.
- [14] PINTO, A. F. C. “Avaliação dos impactos de sistemas fotovoltaicos conectados à rede de distribuição de baixa tensão”. Tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Energia – EP / FEA / IEE / IF da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.
- [15] KARIMI, M.; MOKHLIS, H.; NAIDU, K.; UDDIN, S.; BAKAR, A. H.A. “*Photovoltaic penetration issues and impacts in distribution network – A review*”, Kuala Lumpur, Malaysia, set 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.08.042>>. Acessado em: 17 set 2017.
- [16] CARVALHO, K. J. S. “Sistemas Fotovoltaicos Distribuídos e Integrados à Rede Elétrica: Condições de Operação e seus Impactos”. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.
- [17] JIMENEZ, H.; CALLEJA, H.; GONZÁLEZ, R.; HUACUZ, J.; LAGUNAS, J.; “*The impact of photovoltaic systems on distribution transformer: A case study*”, Mexico, 2005. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890405001044>>. Acessado em: 12 mai. 2018.
- [18] MOTTA, L. J.; JUNG, F. L. L.; RIBEIRO, P. F.; BELCHIOR, F. N. “Considerações sobre o fator de potência em prédio universitário com geração fotovoltaica”, XII CBQEE 2017. Disponível em: <<http://www.swge.inf.br/CBQEE2017/ANAIS/>>. Acessado em: 14 jun. 2018.
- [19] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. “Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST. Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica”, Brasília, 2018.
- [20] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. “Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST. Módulo 3 – Acesso de Micro e Minigeração Distribuída”, Brasília, 2017.

Sistema fotovoltaico autônomo para sistema de iluminação utilizando células reutilizadas de lítio

1st Ulysses Gonçalves

UTFPR, Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Toledo
Toledo, Brasil
usg_222@hotmail.com

3th Jose Lima

ESTIG, Instituto Politécnico de Bragança
Bragança, Portugal
jllima@ipb.pt

2nd Jorge Alves

UTFPR, Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Toledo
Toledo, Brasil
jorgealves@utfpr.edu.br

4th Orlando Soares

ESTIG, Instituto Politécnico de Bragança
Bragança, Portugal
osoares@ipb.pt

Resumo—A energia elétrica é um bem essencial nas vidas das pessoas. No entanto, existem lugares afastados das cidades que não possuem acesso a uma rede pública de distribuição de energia elétrica. Desta forma, este artigo apresenta uma sugestão para solucionar o problema de não iluminação nestes lugares por meio de dispositivos encontrados no mercado e com a reutilização de células de lítio encontrada em aparelhos eletrônicos. Com o protótipo foram realizados testes no sistema, sendo obtidos resultados, os quais são discutidos no artigo, justificando a utilização das células de lítio de segunda vida.

Palavras chave—células de lítio; reutilizadas; autônomo; microcontrolador; iluminação.

I. INTRODUÇÃO

Ainda hoje existem diversas pessoas que vivem ou desenvolvem suas atividades cotidianas em locais afastados dos centros urbanos, onde dificilmente há acesso a rede de distribuição pública de eletricidade, ocasionando a falta de iluminação em horários de indisponibilidade solar. Em alguns casos são adotados o uso de velas ou lâmpadas de querosene, gerando riscos de segurança, produzindo dióxido de carbono, além de possuir baixa qualidade na iluminação [2].

Boucar Diouf, [2] descreveu uma comparação, caracterizando uma vela de parafina que quando acesa produz em média 13 *lúmens* (unidade de medida de fluxo luminoso) e 80 W de calor, gerando a eficácia de 0.16 lm/W, enquanto que uma lâmpada a LED de 5 W com 90 lm/W produz uma quantidade de luminosidade comparada a 35 destas velas.

Diante a isto, este artigo apresenta um meio de utilizar dispositivos de baixo custo encontrados no mercado para o desenvolvimento de um sistema de iluminação autônomo, isto é, um sistema independente da rede pública de distribuição de energia elétrica, de forma que o mesmo seja acessível, inteligente e ecologicamente correto.

Considerando o elevado custo no armazenamento de energia utilizando as baterias, pesquisas realizadas em [3], [7], [8], [11], [12] apresentam como alternativa a reutilização de baterias retiradas de carros elétricos e dispositivos eletrônicos, as quais possuem uma capacidade restante utilizável, permitindo sua reutilização em sistemas que demandam baixo consumo energético.

Sendo assim, este artigo foi dividido em três partes. A primeira parte será abordado o desenvolvimento do sistema, caracterizando as justificativas do dimensionamento dos componentes usados; a segunda parte será exposto as explicações dos testes realizados, mostrando os resultados do sistema; por fim, será apresentada a conclusão.

II. SISTEMA DESENVOLVIDO

O sistema desenvolvido possui a finalidade de alimentar um projetor a LED de 10 W durante duas horas por dia para todos os dias do ano, armazenar medidas referente a quantidade de carga e descarga da bateria em um microcontrolador, informar ao utilizador a quantidade de carga restante, assim como garantir a segurança do sistema quanto ao carregamento e descarregamento das células reutilizadas de lítio.

A Figura 1 é mostrado um diagrama de blocos. Cada bloco representa um componente utilizado.

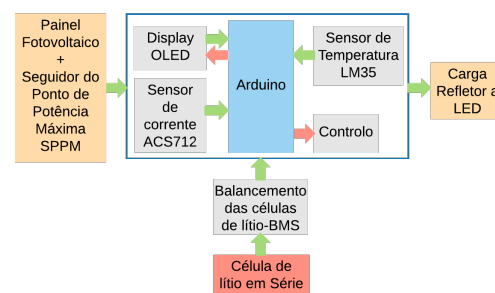


Figura 1. Diagrama de blocos do circuito projetado.

Os blocos com duas setas representam a comunicação *Two Wire Interface* TWI, os blocos com uma seta verde representam a comunicação por meio de portas analógicas e uma seta vermelha representa as ações de controle por meio de portas digitais.

A. *Carga a alimentar*

Inicialmente, foi determinado o consumo diário da carga a ser utilizada. O sistema deve consumir o mínimo de energia possível, satisfazer a luminosidade e autonomia requerida. Desta forma, devido ao baixo consumo, longevidade, facilidade em sua alimentação em corrente contínua, além de ser ecologicamente correta, foi escolhido uma luminária a LED de 10 W [6]. A energia consumida em base diária está representado pela equação (1). Com este dado a etapa seguinte será o dimensionamento do painel fotovoltaico.

$$E_{\text{dia}} = 10 \text{ W} \cdot 2 \text{ h/dia} = 20 \text{ Wh/dia} \quad (1)$$

B. *Dimensionamento do painel fotovoltaico*

Para dimensionar o painel fotovoltaico foi avaliado a quantidade de irradiação por meio do software on-line PVGIS [10].

Na Tabela I está descrito os níveis de irradiação média para cada mês do ano (kWh/m²/dia) na região de Trás-os-Montes, com um ângulo ótimo de 34° direcionado para o Sul geográfico.

Tabela I
DADOS DE IRRADIAÇÃO, PVGIS [10].

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Irradiação	2770	4420	5500	5560	6300	6900
Mês	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Irradiação	7320	7280	6450	4760	3330	2730
Média						5280

A média anual para uma inclinação ótima na região de Trás-os-Montes é de 5280 Wh/m²/dia e a menor irradiação nesta mesma região corresponde a 2730 Wh/m²/dia no mês de dezembro. Para obter energia elétrica suficiente para todos os dias do ano é preciso levar em consideração o pior caso, ou seja, utilizar a menor taxa de irradiação solar durante o ano [9].

O dimensionamento do painel fotovoltaico juntamente com os componentes do sistema é realizado por meio da quantidade de irradiação incidente na localidade de instalação do mesmo e o consumo de energia da carga a ser alimentada. Além disto, os componentes que atuam no sistema apresentam perdas, as quais serão levadas em consideração.

Para estimar as perdas nas canalizações, nas células de lítio, no conversor de corrente contínua para corrente contínua (CC-CC), foi utilizado os valores disponíveis na Tabela II, são valores padronizados encontrados na referência [5].

Tabela II
*VALORES TÍPICOS DE PERDAS ENCONTRADOS EM [5].

Dados de dimensionamento	Valores
Carga instalada	10 W
Consumo diário	20 Wh/dia
Média mensal de irradiação	2730 Wh/dia/m ²
Eficiência das canalização*	98%
Eficiência da bateria*	95%
Eficiência do Conversor CC-CC*	90%

Com o valor da quantidade média de irradiação solar, foi obtido a quantidade acumulada de energia gerada em número de Horas de Sol Pleno (HSP), isto é, o número de horas em que a irradiação solar permanece igual a 1000 W/m²/dia.

Assim, foi utilizado 2730 Wh/m²/dia para obter o número de HSP [5], [9]:

$$HSP = \frac{2730 \text{ Wh/m}^2/\text{dia}}{1000 \text{ W/m}^2} = 2.73 \text{ h/dia} \quad (2)$$

Com os valores da Tabela II e a quantidade de HSP foi obtido a potência mínima do painel fotovoltaico:

$$P_{\text{min}} = \frac{20 \text{ Wh/dia}}{2.73 \text{ h/dia}} = 7.33 \text{ W} \quad (3)$$

E a potência corrigida, devido às perdas no sistema:

$$P_{\text{minCorr}} = \frac{7.33 \text{ W}}{0.98 \cdot 0.95 \cdot 0.9} = 8,75 \text{ W} \quad (4)$$

C. *Armazenamento de energia*

Como o sistema atuará em horários de indisponibilidade solar é preciso que haja uma maneira de armazenar a energia produzida ao longo do dia pelo painel fotovoltaico.

O sistema do tipo autônomo possui elevado preço devido a necessidade de utilizar um sistema para o armazenamento de energia. Visando reduzir o preço do sistema e contribuir para reciclagem de baterias de aparelhos eletrônicos, neste projeto serão utilizados células reutilizadas de lítio.

O dimensionamento da bateria utilizada foi realizada considerando a autonomia do sistema, o comportamento da profundidade de descarga em relação ao número de ciclos e a temperatura em que a mesma está sujeita.

Por meio das informações presente nas folhas de dados das células de lítio modelo 18650, quando há variação na temperatura de 20 °C para 0 °C há uma diminuição de aproximadamente 10% na sua capacidade de descarga, permitindo obter um valor aproximado de correção para o dimensionamento da mesma [1].

Um dos fatores que aceleram o processo de envelhecimento das células de lítio são as altas taxas de descarga e de carga, reduzindo os ciclos de vida. Como este artigo utiliza células reutilizadas de lítio, é considerado um desgaste inicial e uma redução na taxa de descarga, aumentando o tempo de funcionamento e prolongando os ciclos de vida.

Primeiramente foi realizado o cálculo do consumo de potência hora diária pela tensão nominal da bateria, obtendo assim a capacidade da bateria:

$$C_{\text{dia}} = \frac{20 \text{ Wh}}{4 \cdot 3.7 \text{ V}} = \frac{20 \text{ Wh}}{14.8 \text{ V}} = 1.35 \text{ Ah} \quad (5)$$

Consumo da descarga levando em consideração as perdas:

$$C_{\text{diaCorr}} = \frac{1.35 \text{ Ah}}{0.98 \cdot 0.95 \cdot 0.9} = 1,61 \text{ Ah} \quad (6)$$

Um dado descrito no Energia Fotovoltaica - Manual sobre tecnologias, projecto e instalação caracterizado como empírico é a quantidade de dias em que a bateria deve alimentar a carga sem haver "dias de Sol", possuindo uma autonomia de 2 a 3 dias no verão e 3 a 4 dias no inverno [4]. O sistema foi dimensionado para dois dias de autonomia. Além deste fator, para o dimensionamento, foi escolhido a profundidade de descarga de 70% devido a utilização de células reutilizadas de lítio e um coeficiente de correção relativo as variações da temperatura ao longo do ano. Desta forma é obtido:

$$C_{\text{total}} = \frac{2 \cdot 1.61 \text{ Ah}}{0.7 \cdot 0.9} = 5.11 \text{ Ah} \quad (7)$$

D. Demais dispositivos utilizados

O sistema é composto por um dispositivo Seguidor do Ponto de Potência Máxima (SPPM) para regular a tensão e obter a maior eficiência na produção de energia fotovoltaica; dois microcontroladores, um para a gestão e funcionamento do sistema o outro para recepção dos dados para análise das medidas, por meio da comunicação *Two Wire Interface (TWI)*; um sensor de corrente ACS712; um sensor de temperatura LM35; um *Battery Management System (BMS)* para o balanceamento das células de lítio e por fim, os demais componentes que permitem as conexões e montagem do sistema.

A Figura 2 apresenta o sistema projetado e montado para os testes com os respectivos periféricos nomeados na imagem.

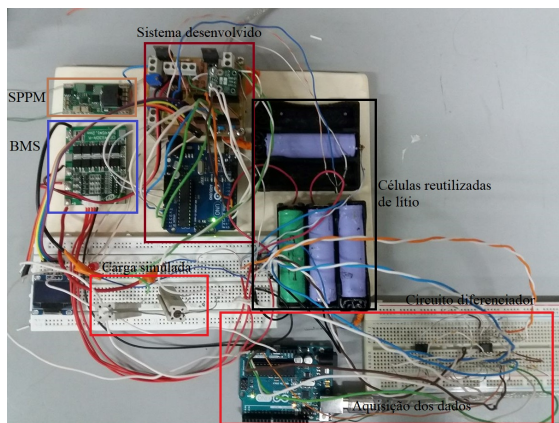


Figura 2. Sistema montado para realização dos testes.

Para obter o funcionamento do sistema de acordo com o pretendido, foi realizada a programação do microcontrolador em C, com a lógica caracterizada na maquina de estados da Figura 3.

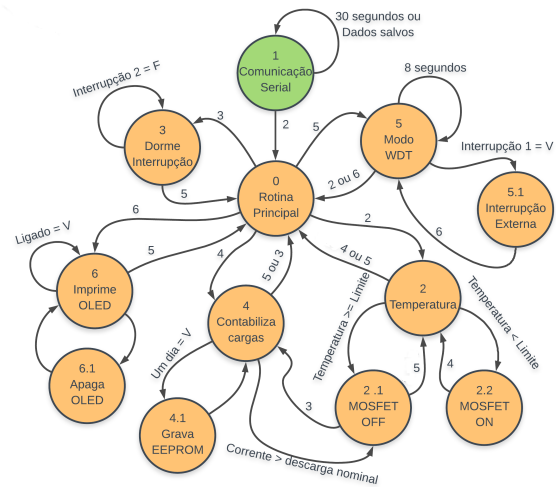


Figura 3. Máquina de estados, algoritmo desenvolvido.

O primeiro estado consiste em realizar a configuração inicial do sistema, por meio da aplicação desenvolvida mostrada na Figura 4, caracterizado pela configuração da data de instalação do sistema, o limite de carga e descarga, a corrente de descarga e o limite de temperatura.

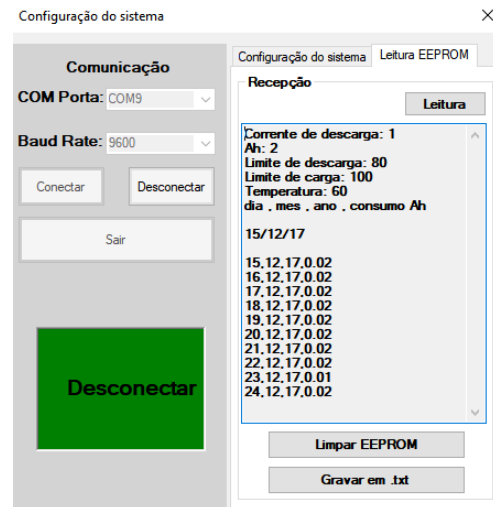


Figura 4. Plataforma desenvolvida para configuração inicial do sistema.

Os demais estados consiste em verificar a temperatura do banco de células de lítio, verificar a corrente, a quantidade de carga, a profundidade de corrente de descarga, verificar se houve transição dos dias para gravar a quantidade de corrente de carga e descarga em base diária, colocar o microcontrolador em dois estados de economia de energia: o primeiro ativa o microcontrolador com um sinal externo

e o outro modo faz com que o microcontrolador entre no modo *sleep* durante oito segundos e o microcontrolador acorda durante uma fração de tempo fazendo as devidas medidas e novamente entra em modo *sleep*. Esta estratégia foi adotada para que houvesse a máxima economia de energia.

Prosseguindo com a explicação do funcionamento da máquina de estados, se for estabelecido conexão serial, o microcontrolador aguarda os dados a serem salvos, caso não haja comunicação serial o microcontrolador aguarda 30 segundos, depois destes dois processos o estado presente será o 2, não sendo mais utilizado o estado 1. No estado 2 será verificado a temperatura no banco das células de lítio, caso a temperatura estiver acima do limite configurado anteriormente, o sistema será desligado por meio dos MOSFET da carga e da descarga e o microcontrolador se encontra no estado 5. Se a temperatura estiver abaixo do que foi configurada, o sistema volta a permitir carga e descarga. Caso não houver carga/descarga ou o evento de pressionar o botão do *display*, o próximo estado será o 3, o modo *sleep*, caso contrário, será o 5, o qual será feito o teste verificando se o botão do *display* fora pressionado, depois disto é realizado a contabilização da corrente de descarga/carga. Se a corrente for maior do que a corrente nominal configurada, o próximo estado será o 4, função que desliga tanto a carga como a descarga, colocando o estado 3 como próximo estado, fazendo com que o microcontrolador entre em modo *sleep*, caso contrário, será verificado se passou um dia, se sim, será gravado a corrente total contabilizada de descarga e carga na memória EEPROM do microcontrolador, se não, o próximo estado será o 5, o qual será verificado se o botão do *display* foi pressionado, se não foi pressionado o microcontrolador entra no modo *sleep* durante oito segundos e volta a atividade com o *overflow* do *Watchdog Timer* (WDT) e o ciclo é repetido anteriormente explicado, começando novamente pelo estado 2. Caso o botão do *display* for pressionado em qualquer lugar em que o programa estiver na linha de código, será gerado uma interrupção nos dois pinos de interrupção externa, a interrupção com maior prioridade será tratada fazendo com que o microcontrolador, independente do estado que estiver, passa para o estado 5 verificando se houve uma interrupção externa do pino digital 2, mudando seu estado para o 6 e imprimindo os dados no *display*, aguardando um tempo na apresentação das medidas, depois disto o estado direcionado será o 5, repetindo o processo, verificando todas as possibilidades mencionadas anteriormente.

Para avaliação dos dados deste sistema, foi implementado uma função para disponibilizar as medidas no barramento TWI. Na Figura 5 é apresentado o diagrama de blocos que caracteriza o circuito montado.

O circuito e a programação desenvolvida é representada por uma caixa preta. Dentro desta caixa existe a parte física desenvolvida e a parte da programação, onde é feita a contabilização e gerenciamento da quantidade de carga

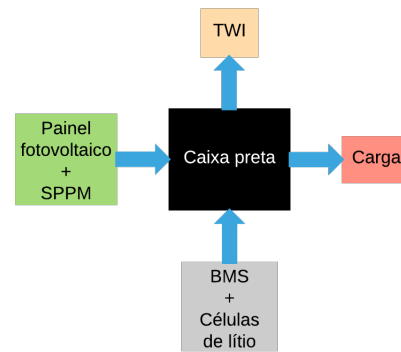


Figura 5. Representação do circuito genérico utilizado.

existente na bateria, capacidade disponível, verificação da temperatura da bateria e contabilização da corrente consumida.

E. Teste do algoritmo na descarga

Para avaliar o sistema e algoritmo desenvolvido foi realizado diversos testes, permitindo avaliar o comportamento do sistema em possíveis situações existente na instalação do mesmo em campo. Desta forma, a Figura 6 é mostrado o teste referente a descarga, sendo dividida em seis situações que serão explicada a seguir.

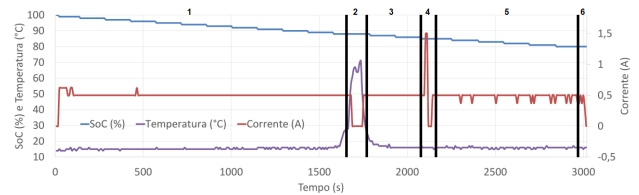


Figura 6. Gráfico representando a descarga das células de lítio, dividido em seis situações de testes.

- 1) Inicialmente o sistema não apresenta descarga, logo em seguida é submetido a uma descarga, fazendo com que o estado de carga da bateria decresça. Como a descarga é realizado com uma carga resistiva, a descarga é compreendida como linear, havendo oscilações devido aos fatores presentes no sensor de corrente ACS712, explicados anteriormente;
- 2) Logo em seguida, o sensor LM35 é submetido a um aumento de temperatura, simulando uma possível elevação na temperatura da bateria. Se houver um aumento excessivo, a mais do que o limite inicialmente configurado, o sistema é desligado, retornando ao descarregamento quando a temperatura for menor do que o limite configurado;
- 3) O sistema volta a funcionar normalmente como na primeira parte do teste;
- 4) Foi feito uma descarga com uma carga que consome uma corrente elevada, com a finalidade de verificar se o sistema está obtendo resposta sobre a configuração inicial de descarga. Desta maneira, o

sistema foi desligado, devido a corrente ser maior do que a corrente configurada inicialmente, desligando a carga e descarga, emitindo um alerta em um LED vermelho, sendo ativado quando pressionado o botão para verificação da mensagem no *display*;

- 5) Depois disto, o sistema é descarregado até o limite da configuração inicial do estado de carga, havendo uma variação na corrente, anteriormente explicado no primeiro tópico;
- 6) A descarga é desligada, pois foi alcançado o limite do estado de carga configurado do sistema.

F. Teste do algoritmo na carga

Uma solução adotada para haver a diminuição do erro acumulado durante o processo de carregamento e descarregamento da bateria é a contabilização da corrente de carregamento subtraído da corrente de descarregamento acumulada, até se anular. Quando nula, o carregamento prossegue enquanto a corrente de carga não atingir 1/10 da corrente configurada de carregamento.

Durante a carga foi realizado o teste sobre o comportamento do sistema quando é elevada a temperatura, para isto, foi preciso simular um aumento da mesma no sensor de temperatura. A Figura 8 mostra o comportamento do sistema, a seguir é explicado as divisões da imagem.

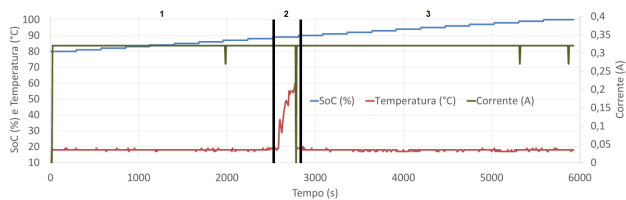


Figura 7. Gráfico representando a carga das células de lítio, dividido em três situações de testes.

- 1) Inicialmente o sistema esta sendo carregado, a linha azul representado o estado de carga, que esta se elevando. A corrente, representada pela linha vermelha, sofre algumas variações devido ao erro que é encontrado nas medidas do sensor de corrente;
- 2) Logo em seguida o sensor de temperatura é submetido a um aumento em sua temperatura, afim de simular o aquecimento das células de lítio. Quando a temperatura alcança o limite da temperatura configurada, o processo de carregamento é desligado, a corrente é cortada;
- 3) A temperatura diminui, o processo de carga volta a atividade, finalizando o ciclo de teste.

G. Teste de gravação de dados

Com a finalidade de avaliar a função desenvolvida para gravar os dados na memória interna do microcontrolador, o sistema recebe uma tensão, simulando a geração de energia elétrica quando o painel fotovoltaico é submetido a uma irradiação solar, fazendo com que seja carregada a bateria e contabilizada a carga acumulada. Em seguida, a fonte de

tensão é desligada, simulando o passar do dia, neste caso à noite, fazendo com que a descarga seja acionada. Com este teste, sendo o mesmo repetido a cada cinco minutos aproximadamente, os dados referentes a carga e descarga acumuladas em base diária são gravados na memória EEPROM do microcontrolador. A Figura 8 mostra os dados gravados e os dias incrementados, confirmando a funcionalidade do algoritmo desenvolvido.

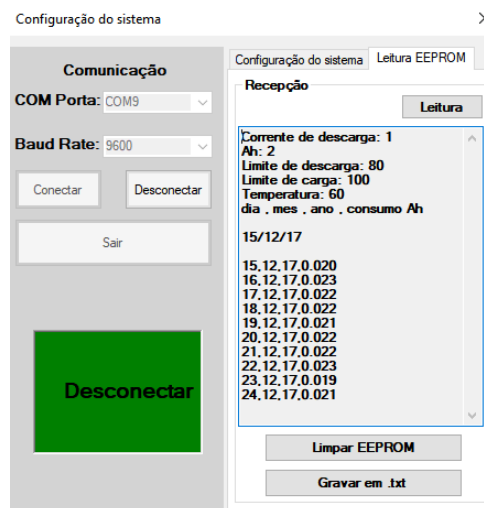


Figura 8. Leitura dos dados simulados na plataforma desenvolvida.

H. Avaliação do consumo do microcontrolador

O circuito projetado contou com o uso do Arduino UNO, devido a facilidade em obter acesso as medidas capturadas por meio da porta serial. Foi verificado que o consumo de energia de um Arduino UNO prejudicaria o autonomia do sistema.

A avaliação do consumo do Arduino consiste em verificar a corrente drenada da fonte durante o funcionamento do algoritmo desenvolvido para o sistema.

Desta forma, é mostrado na Tabela III o consumo do Arduino UNO em operação.

Tabela III
CONSUMO DE CORRENTE DO ARDUINO.

Estado do programa	Corrente (mA)
Modo normal	51.3
Modo <i>sleep</i> interrupção externa	45.3
Modo <i>sleep</i> WDT	46.7
Alimentando o OLED	60

Com os dados apresentados na Tabela III é verificado uma diferença nos valores das correntes devido a eventos que o mesmo é submetido.

Desta forma, a estratégia adotada proporciona uma redução no consumo do sistema, sendo colocado em modo *sleep* na maioria do tempo de funcionamento, reduzindo seu consumo.

III. CONCLUSÃO

O principal objetivo do trabalho consistiu no desenvolvimento de um sistema capaz de monitorizar a carga e descarga das células reutilizadas de lítio em um sistema composto por componentes de baixo custo, assim como gerenciar a quantidade de carga disponível, temperatura do conjunto de células e alimentar um projetor a LED para ser utilizado em lugares onde não há acesso a rede pública de distribuição de energia elétrica.

Os testes aplicados e apresentados tem como premissa verificar a funcionalidade do sistema desenvolvido. Primeiramente foi realizado a inicialização do sistema, com a finalidade de verificar se o algoritmo estava correto quanto a recepção dos dados a serem gravados na memória interna do microcontrolador, representando os dados da configuração inicial do sistema. Com o teste de carga e descarga realizado pelo sistema, foi possível detectar problemas nas medições de corrente, devido sua precisão. Foi apresentado o teste para verificar o dispositivo responsável por carregar e balancear as células de lítio, sendo obtido um resultado satisfatório.

Os dados relativos a descarga foram também apresentados na forma de gráficos, explicitando os testes impostos ao sistema. É conclusivo que ambos, carga/descarga, possuem o comportamento esperado diante as situações simuladas no sistema.

A estratégia utilizada no algoritmo para economia de energia provou ser eficiente, visto que a Tabela III apresenta os resultados do Arduino em uma atividade normal comparando com as demais ações do mesmo.

Os testes foram conduzidos para baixas correntes, o que tornou os resultados imprecisos, devido o sensor que foi utilizado, com uma faixa de corrente de menos trinta amperes a trinta amperes. Além disto, há a limitação do conversor analógico para digital do microcontrolador, possuindo somente 10 bits de resolução, reduzindo a confiabilidade das medidas tanto de corrente, quanto das tensões das células de lítio.

Com o sistema desenvolvido foi verificado a possibilidade de aplicação em diversas outras cargas, pois o mesmo é comparado a uma caixa preta, a qual possui saída para alimentar uma carga, entrada para carregar a bateria e uma saída para obtenção dos dados relativos a carga, descarga e temperatura da bateria. Para outras aplicações torna-se necessário verificar se é preciso ser feito ajustes na configuração inicial, além de avaliar se a parte física atende a aplicação desejada.

Diante aos resultados, é conclusivo que o sistema possui a funcionalidade desejada, permitindo o uso das células de lítio reutilizadas para aplicação do problema apresentado.

REFERÊNCIAS

- [1] Linden David and B Reddy Thomas. *Handbook of batteries*. McGraw-Hill Professional, 4th edition, 2010.
- [2] Boucar Diouf. A second life for mobile phone batteries in light emitting diode solar home systems. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 8(2):024106, 2016.
- [3] Boucar Diouf. A second life for mobile phone batteries in light emitting diode solar home systems. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 8(2):024106, 2016.
- [4] Altener Programa Comunitário Greenpro. Energia fotovoltaica-manual sobre tecnologias, projecto e instalação. *Europa: Comissão Europeia*, page 43, 2004.
- [5] APC Guimarães, CM Ribeiro, LEG Bastos, LCG Valente, PCD Silva, and RXD Oliveira. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. *Ediouro Gráfica e Editora SA Edição Especial, Rio de Janeiro, Brasil*, 2004.
- [6] Colin J Humphreys. Solid-state lighting. *MRS bulletin*, 33(4):459–470, 2008.
- [7] Wen-Chen Lih, Jieh-Hwang Yen, Fa-Hwa Shieh, and Yu-Min Liao. Second use of retired lithium-ion battery packs from electric vehicles: technological challenges, cost analysis and optimal business model. In *Computer, Consumer and Control (IS3C), 2012 International Symposium on*, pages 381–384. IEEE, 2012.
- [8] Egoitz Martinez-Laserna, Elixabet Sarasketa-Zabala, D-I Stroe, M Swierczynski, Alexander Warnecke, Jean-Marc Timmermans, Shovon Goutam, and Pedro Rodriguez. Evaluation of lithium-ion battery second life performance and degradation. In *Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2016 IEEE*, pages 1–7. IEEE, 2016.
- [9] João Tavares Pinho and Marco Antonio Galdino. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. *Rio de Janeiro: CEPEL*, 2014.
- [10] Monthly Solar Irradiation PVGIS. Disponível em: <<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/mrcalc.php>>. Acesso realizado em: Out, 2017.
- [11] Kirti Richa, Callie W Babbitt, Gabrielle Gaustad, and Xue Wang. A future perspective on lithium-ion battery waste flows from electric vehicles. *Resources, Conservation and Recycling*, 83:63–76, 2014.
- [12] Charles R Standridge and Lindsay Corneal. Remanufacturing, repurposing, and recycling of post-vehicle-application lithium-ion batteries. Technical report, 2014.

ESTUDO DE UM COMPÓSITO DE POLIPROPILENO REFORÇADO COM FIBRAS DA CASCA DE NOZ MACADÂMIA PARA CARACTERIZAÇÃO DE PROPRIEDADES ÓPTICAS POR MEIO DA TÉCNICA DE ELIPSOMETRIA

Patrícia Sousa Nilo Mendes

Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Metalúrgica (PPGEM)
Universidade Federal Fluminense
Volta Redonda, Brasil
patricianilo@id.uff.br

Joyce de Paula Cipriano

Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Metalúrgica (PPGEM)
Universidade Federal Fluminense
Volta Redonda, Brasil
joycecipriano@id.uff.br

Cláudio Faria Lopes Junior

Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Metalúrgica (PPGEM)
Universidade Federal Fluminense
Volta Redonda, Brasil
claudiofaria@id.uff.br

Priscila Sousa Nilo Mendes

Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Metalúrgica (PPGEM)
Universidade Federal Fluminense
Volta Redonda, Brasil
priscilanilo@id.uff.br

Daniela Mulinari

Universidade do Estado do Rio de
Janeiro
Resende, Brasil
dmulinari@hotmail.com

Ladário da Silva

Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Metalúrgica (PPGEM)
Universidade Federal Fluminense
Volta Redonda, Brasil
ladariosilva@id.uff.br

Resumo — Materiais compósitos têm sido utilizados em variados ramos da Engenharia. Esse fato justifica a necessidade de pesquisas com o intuito caracterizar diversas propriedades destes materiais. Dentre as propriedades de interesse destacam-se as relativas às características de sua superfície. O presente trabalho tem como objetivo principal aplicar a técnica de elipsometria de forma a revelar as propriedades ópticas de um compósito de polipropileno PP reforçado com fibras da casca de noz de macadâmia. A fim de se entender essas propriedades é interessante avaliar a topografia da superfícies, sua rugosidade e caracterizar sua microestrutura e dados de rugosidade superficial do material em questão. Relatamos nossos resultados preliminares.

Palavras-chave — *compósitos; polipropileno; elipsometria.*

I. INTRODUÇÃO

A utilização da reciclagem de polímeros faz-se cada vez mais indispensável devido ao intenso uso desses materiais. A forma mais simples de reaproveitamento é a reutilização desses materiais, com ajustes para manter suas propriedades e atender às aplicações desejadas. Contudo, existem muitos métodos de reciclagem em desenvolvimento e disponíveis para as empresas recicladoras. Basta apenas escolher o mais recomendado de acordo com os objetivos, a legislação vigente, a tecnologia disponível e a viabilidade econômica [1].

Devido esta consciência ambiental, o desenvolvimento de compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais tem sido extensamente estudado, devido aos benefícios que as fibras naturais oferecem quando comparado aos materiais sintéticos [2].

Um fator importante que favorece o emprego de fibras naturais como insumo renovável é a crescente perspectiva de economia de energia por meio da redução de peso dos componentes, bem como os aspectos ligados à recuperação das matérias-primas e ao reaproveitamento dos materiais no final do ciclo de vida do produto, levando em consideração que a casca de noz de macadâmia é um resíduo gerado em grande quantidade [3].

Segundo [3], a escolha da matriz polimérica é de acordo com sua aplicação final, avaliando propriedades térmicas e físicas, bem como o processo e estrutura de fabricação. Então, considerando o processo para obtenção do compósito, as propriedades mecânicas, a disponibilidade e o custo, a matriz polimérica escolhida foi o polipropileno

De acordo com [4], o PP com sua baixa densidade, baixo custo e a facilidade de moldagem têm proporcionado o crescente uso na indústria automobilística. O Polipropileno (PP) é um termoplástico, semi-cristalino, pertencente ao grupo das poliolefinas e muitos são os fatores que podem alterar suas propriedades, entre elas o grau de cristalinidade, a tenacidade e a massa molar.

No Brasil existe uma grande variedade de fibras vegetais com diferentes propriedades químicas, físicas e mecânicas. E vários produtos que usam fibras naturais vegetais estão sendo desenvolvidos, principalmente para peças de acabamento interno de veículos, onde outras propriedades mecânicas, térmicas e acústicas são relevantes. Há estudos que mostram a utilização de outras fibras, como por exemplo, a da casca de Noz Macadâmia [5].

A motivação do estudo deste compósito é devido ao cenário atual, que incentiva a realização de pesquisas mais detalhadas em relação as suas propriedades físicas. Neste trabalho focar-se-á nas propriedades de superfície, em especial as i desse material. Sendo assim, a elipsometria é uma

técnica que propicia a caracterização das propriedades ópticas de um determinado material. Esta é baseada na análise da variação do estado de polarização da luz que incide sobre a superfície do corpo de prova. Dispõe-se assim de uma técnica geralmente não destrutiva e de alta precisão, que acessa os parâmetros elipsométricos Ψ (razão de amplitudes) e Δ (mudança de fase) em função do comprimento de onda. Através do modelamento apropriado, destaca-se que a técnica é capaz de medir o índice de refração e o coeficiente de extinção [6,7,8].

Sendo E_{i_p} e E_{i_s} as componentes do campo elétrico incidente e E_{r_p} e E_{r_s} são componentes da luz refletida, respectivamente nas direções p e s. A partir da razão entre essas componentes, obtêm-se os coeficientes complexos de Fresnel r_{it}^p e r_{it}^s , e por meio destes coeficientes é possível definir a equação fundamental da elipsometria, que relaciona relacionar os ângulos Ψ e Δ [6,9].

De acordo com [6], utilizando a técnica de elipsometria, é possível quantificar o índice de refração (n) e o coeficiente de extinção (k), os quais são chamados de constantes ópticas. Contudo o índice de refração complexo ($N = n + ik$) reflete melhor o comportamento óptico de vários materiais que apresentam absorção de luz e consequentemente não podem ser expressos apenas com n [10].

Devido a elipsometria ser uma técnica indireta, tem-se a necessidade de modelagem computacional para relacionar as medidas dos parâmetros elipsométricos da luz polarizada, mais precisamente, funções suas: $\tan(\Psi)$ e $\cos(\Delta)$, às propriedades ópticas e dielétricas do material bem como também é possível encontrar a espessura das camadas existentes em materiais estruturados. Nesta modelagem pode-se necessitar de modelos que descrevam o efeito da rugosidade da superfície ou ainda o comportamento óptico e/ou dielétrico (Lorentz, Cauchy, Tauc-Lorentz, etc.) de uma determinada camada ou das camadas em estudo. Esses modelos assim como a confiabilidade dos dados ajustados com base em parâmetros estatísticos como R^2 e RMSE, que estão disponíveis no programa SEA (*Spectroscopic Ellipsometer Analyzer*), sendo este um software de modelagem dos dados medidos pelo elipsômetro [11].

O presente trabalho tem como objetivo principal aplicar a técnica de elipsometria de forma a revelar as propriedades ópticas de um compósito de polipropileno PP reforçado com fibras da casca de noz de macadâmia. Além disso, a aplicação de outras técnicas foi extremamente necessário para estudo não só de propriedades ópticas, como também de sua microestrutura e dados de rugosidade superficial do material em questão

II. MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia desenvolvida para o cumprimento dos objetivos propostos neste trabalho foi otimizada e realizada para avaliar a viabilidade técnico-científica da proposta.

A. Materiais

No presente trabalho foram analisadas amostras de um polímero puro polipropileno (PP) e também amostras de compósitos com matriz de PP revestidos com cascas de noz

macadâmia com porcentagens de 5%, 10%, 15%, 20% e 25%, respectivamente. A fibra da casca de noz macadâmia utilizada foi fornecida pela Tribeca, localizada em Pirai – RJ e o polipropileno (PP) foi fornecido pela empresa BRASKEM, do tipo H5O3, com densidade de $0,905 \text{ g/cm}^3$ e temperatura de fusão de 155° . Que então foram processados na Universidades do Rio de Janeiro e fornecidos para o presente trabalho.

Portanto, para realização das etapas experimentais do estudo proposto, foi obtido o compósito de matriz de polipropileno reforçados com casca de Noz Macadâmia, conforme a Fig. 1.

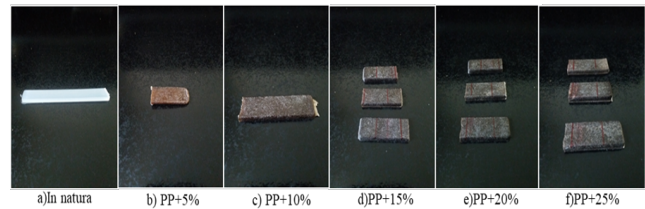


Fig. 1. Amostras como recebidas, detalhadas com suas composições.

B. Métodos

A técnica de caracterização por Elipsometria é muito sensível as alterações das propriedades da superfície do material, logo foi definido que para dar um melhor acabamento superficial, deveria haver uma excelente preparação metalográfica do mesmo. Então, as amostras foram cortadas e para facilitar o seu manuseio e evitar possíveis danificações às lixas e panos de polimento, as amostras foram embutidas. No entanto, devido ao baixo ponto de fusão do polipropileno, seu embutimento foi realizado a frio. Em seguida as amostras foram lixadas para eliminar os riscos e marcas mais fundas da superfície do material, e para isso foi utilizado lixas com granulometria de numeração 220Mesh, 600Mesh, 1000Mesh, 1200Mesh e 1500Mesh. As amostras, após lixadas foram polidas com disco de pano PD 6, PD 3 e PD 1, com pasta de diamante com granulometrias de $6\mu\text{m}$, $3\mu\text{m}$ e $1\mu\text{m}$, em álcool iso-propílico. Assim, conforme a Fig. 2 representa as amostras do material após esta etapa de preparação metalográfica.



Fig. 2. Amostras do material após preparação metalográfica.

Após o procedimento de polimento, os compósitos foram analisados em um microscópio ótico NIKON LV150 e programa de captura de imagens “Stream Basic 8.1” com lentes de aumento de 50X, 100X, 200X e 500X.

Para medir a topografia e a rugosidade de forma concisa e confiável foi utilizado o Microscópio Confocal Interferométrico Leica DCM 3D, que para a análise das mesmas são geradas imagens de topografia de superfície em 3D com alcance de 40 mm, além da varredura da rugosidade

Os autores deste estudo agradecem à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) pela compra do Elipsômetro Espectroscópico SEMILAB GES 5S e do Microscópio Confocal Interferométrico LEICA DCM3D. Agradecemos também à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo financiamento com bolsas do terceiro autor no mestrado e do quarto autor no doutorado.

existente no material. Então os dados colhidos pela lente são processados e com base no programa é feita a análise.

Na etapa seguinte foi empregado um Elipsômetro Espectroscópico modelo GES 5S da SEMILAB, de polarizador rotativo com *microspot* de lente convergente. O Elipsômetro admite realizar medidas para diferentes ângulos de incidência, contudo para a nossa pesquisa os parâmetros elipsométricos Ψ e Δ são obtidos com um único ângulo de incidência de 75° , sendo este escolhido por meio de testes realizados no material.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A. Microscopia Óptica

A microscopia óptica permitiu visualizar a distribuição e principalmente as mudanças de concentrações de cada amostra dentro da matriz. Sendo também realizadas as micrografias do PP puro para comparações com aquelas depois de processados. As Fig. 3 a Fig. 8 evidenciam as regiões dos compósitos reforçados com 5%, 10%, 15%, 20% e 25% em massa de fibras e também do PP puro. As superfícies desses materiais com diferentes reforços se mostram uma distribuição homogênea das fibras dentro da matriz. No entanto, as fibras são de tamanhos diferentes e a distribuição das fibras dentro da matriz é aleatória. Percebe-se que a maior concentração em massa de fibras altera significativamente a superfície.

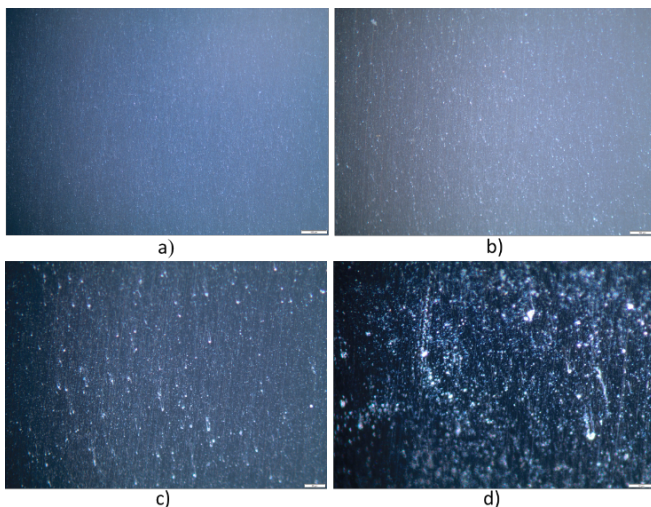


Fig. 3. MO do PP puro a) 50X, b) 100X, c) 200X e d) 500X.

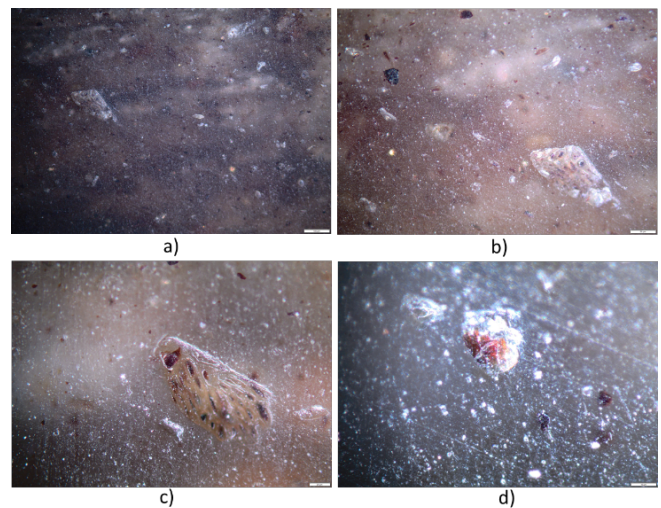


Fig. 4. MO do PP+5% a) 50X, b) 100X, c) 200X e d) 500X.

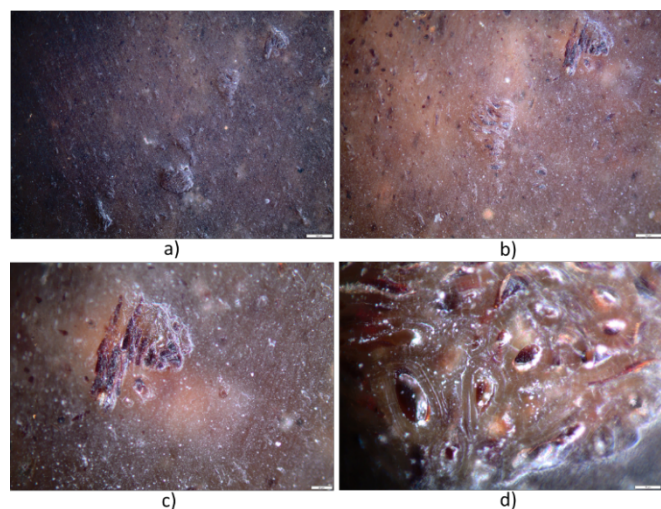


Fig. 5. MO do PP+10% a) 50X, b) 100X, c) 200X e d) 500X.

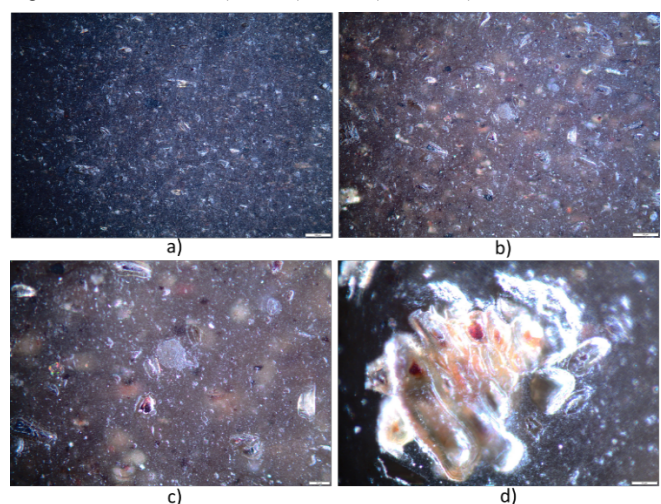


Fig. 6. MO do PP+15% a) 50X, b) 100X, c) 200X e d) 500X.

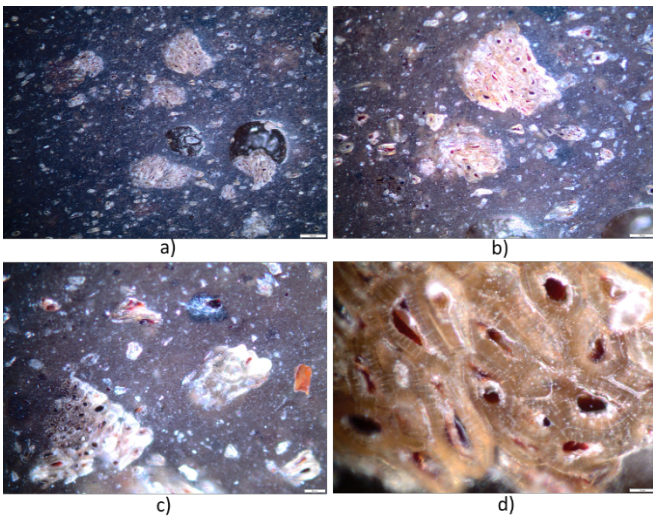


Fig. 7. MO do PP+20% a) 50X, b) 100X, c) 200X e d) 500X.

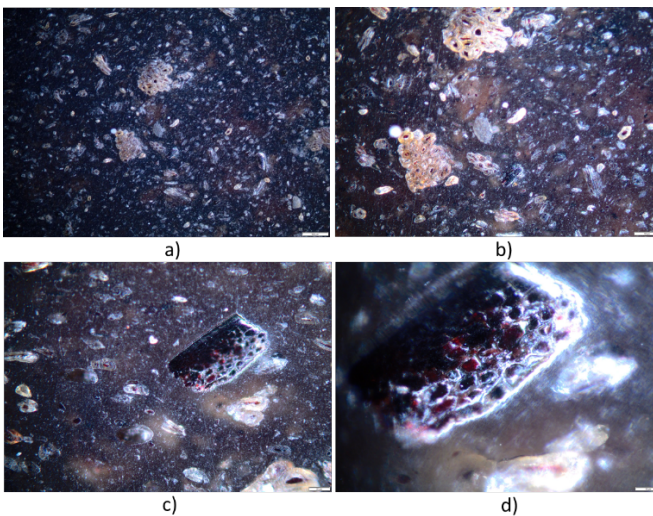


Fig. 8. MO do PP+25% a) 50X, b) 100X, c) 200X e d) 500X.

B. Caracterização por Microscopia Confocal

Foram realizadas as medidas de rugosidade superficial para cada amostra por meio do Microscópio Confocal, com a finalidade de conhecer a superfície e saber se havia alguma irregularidade da mesma. Em seguida foi apresentada a análise de microscopia confocal para a amostra de PP puro e também uma das amostras de compósitos. Na Fig. 9 é exibida a topografia da superfície em 3D e na Fig. 10 o perfil de uma linha da superfície usada na medida de rugosidade do material ao longo da área central de cada amostra. Logo após segue as mesmas análises para o compósito com 10% de fibra de noz macadâmia, este escolhido aleatoriamente para representar as amostras, conforme Fig. 11 e 12.

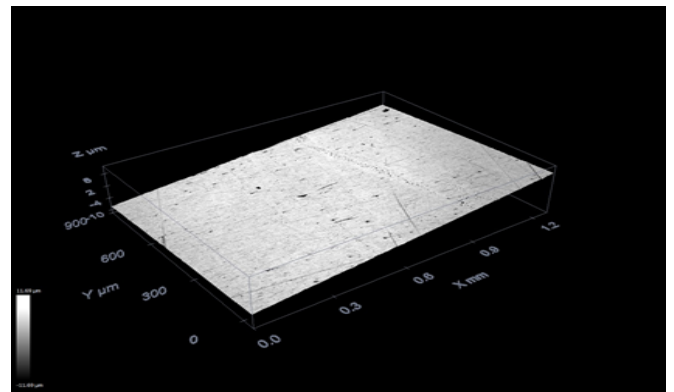


Fig. 9. Análise da superfície da amostra PP puro com imagem da topografia em 3D com lente de 10X.

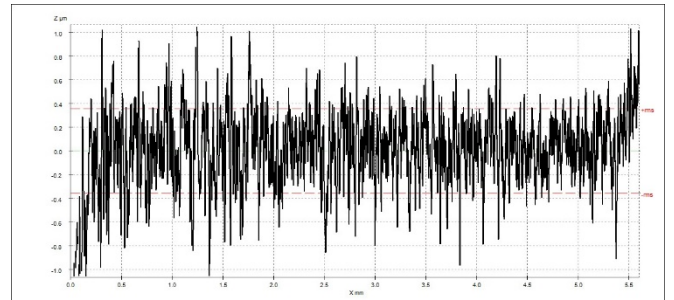


Fig. 10. Perfil de uma linha da superfície da amostra PP puro ao longo da área central.

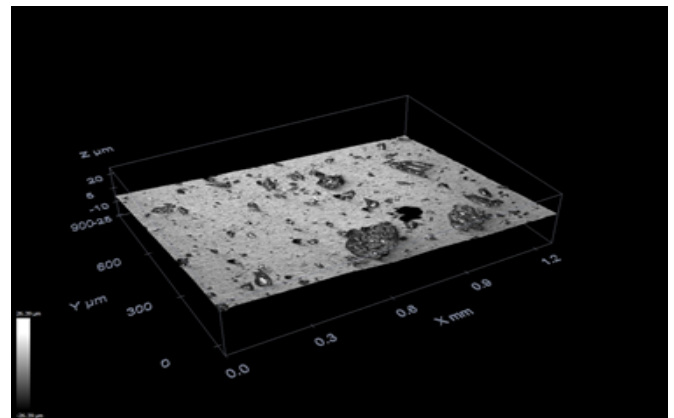


Fig. 11. Análise da superfície do compósito com 10% de macadâmia com imagem da topografia em 3D com lente de 10X.

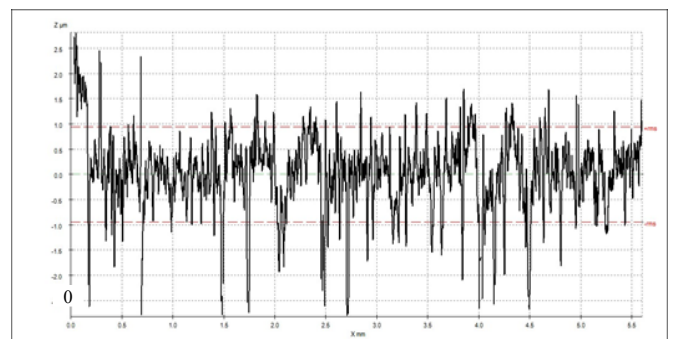


Fig. 12. Perfil de uma linha da superfície da amostra de compósito com 10% de macadâmia ao longo da área central.

Através dos resultados alcançados é perceptível que as amostras se apresentaram livres de riscos profundos e com

uma boa planicidade. A Tabela 1 apresenta a rugosidade média e o desvio padrão de cada amostra ao longo da linha central, sendo estas com base na Norma DIN 4768/4288.

TABELA 1. RUGOSIDADE MÉDIA ATRAVÉS DO MICROSCÓPIO CONFOCAL.

Amostras	R _a MÉDIA (μm)	DESVIO PADRÃO (μm)
PP	0,2592	0,0059
PP+5%	0,5208	0,0714
PP+10%	0,5144	0,0936
PP+15%	0,6632	0,0579
PP+20%	0,6234	0,0719
PP+25%	0,7884	0,0745

Então como pode se notar, que cada amostra de compósito atingiu um resultado bastante próximo para a rugosidade média ao compará-las uma as outras. No entanto aquela em que se encontra pura apresenta uma rugosidade média menor. Podendo se concluir que a casca de noz macadâmia afetou nas medidas de rugosidade. Mas, logo acredita-se que as medidas experimentais elipsométricas não despoem grandes variações ocasionadas pela interferência da rugosidade.

C. Elipsometria

Após a realização das medidas de rugosidade, as amostras de PP puro e PP + 10%, este representando os outros compósitos, pois não houve muita alteração nos valores, foram utilizadas para a determinação dos parâmetros Ψ e Δ via elipsometria apresentados a seguir pelas Fig. 13-16. Então, através do modelo de bulk consegue-se obter o índice de refração e o coeficiente de extinção se as condições do mesmo são satisfeitas. Para as demais amostras ainda será necessário a realização desta etapa.

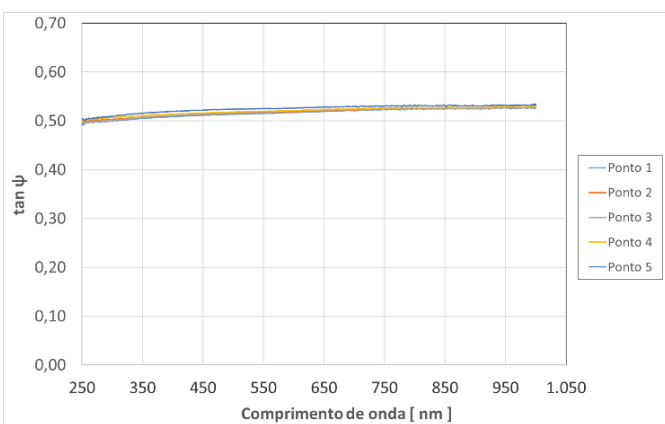


Fig. 13. Medidas experimentais de tan (Ψ) para amostra de PP puro realizadas para 5 pontos distintos sendo estes no centro e extremidades.

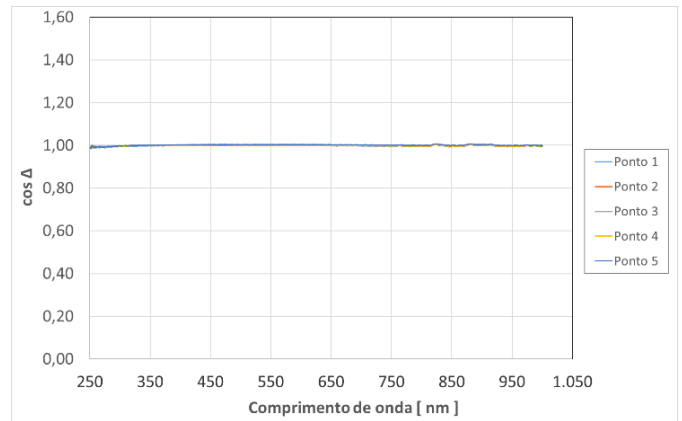


Fig. 14. Medidas experimentais de cos (Δ) para amostra de PP puro realizadas para 5 pontos distintos sendo estes no centro e extremidades.

Percebe-se que os resultados praticamente não variam nos diferentes pontos (P1, P2, P3, P4 e P5) da superfície da amostra usados para a medida.

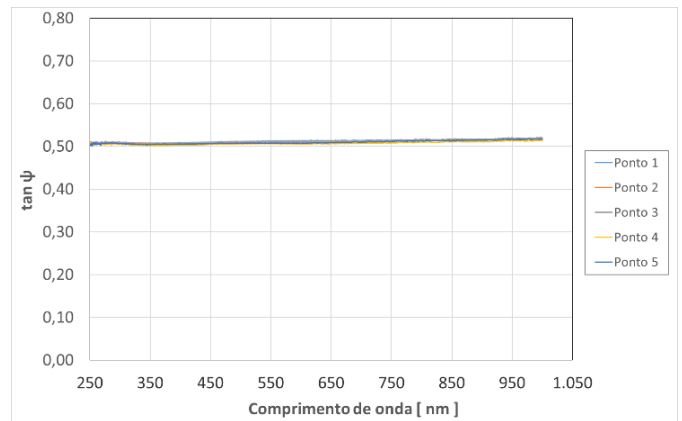


Fig. 15. Medidas experimentais de tan (Ψ) para amostra de compósito com 10% de noz macadâmia realizadas para 5 pontos distintos sendo estes no centro e extremidades.

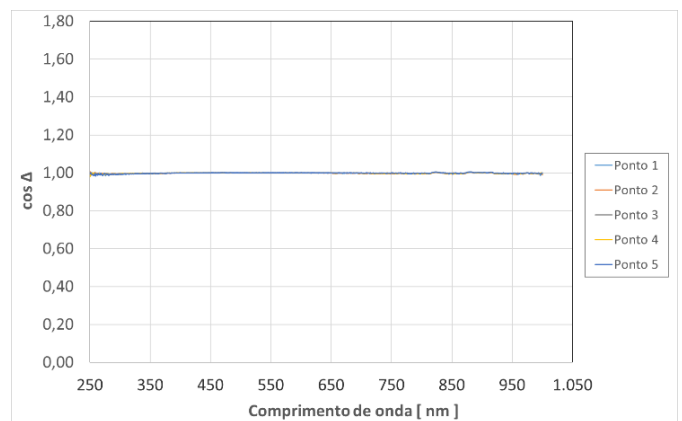


Fig. 16. Medidas experimentais de cos (Δ) para amostra de compósito com 10% de noz macadâmia realizadas para 5 pontos distintos sendo estes no centro e extremidades.

Os resultados apresentados são preliminares pois é preciso maior avaliação da legitimidade desse modelo, uma vez que

a maior concentração de casca de noz provoca maior rugosidade na superfície. Isso pode afetar as medidas de índice de refração e coeficiente de extinção. Por este motivo, será necessário avaliar vários modelos, levando em conta características da superfície, como rugosidade e uniformidade para caracterização óptica da superfície.

IV. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos foi possível avaliar o efeito da quantidade de reforço inserido na matriz de PP para obtenção dos compósitos através da microscopia óptica e rugosidade.

Por meio da microscopia Confocal e Elipsometria foi possível avaliar a topografia, a rugosidade e obter os parâmetros elipsométricos das amostras. Com esses dados foi possível analisar a superfície do polipropileno puro e o compósito. Percebe-se a variação das propriedades da superfície, à medida que aumenta a concentração de casca de noz macadâmia. Nota-se também que a topografia pode variar de acordo com o ponto específico de cada amostra devido as fibras apresentarem tamanhos diferentes e a distribuição das mesmas dentro da matriz serem aleatórias.

Para complementação e continuação da caracterização do material, pretende-se testar vários modelos de ópticos da técnica de Elipsometria e ainda realizar medidas de dureza e módulo de elasticidade para aperfeiçoar os resultados.

REFERÊNCIAS

- [1] CURRY, M. J., EHRIG, R. J. *Plastics Recycling: products and processes*, 1992.
- [2] ARRAKHIZ, F. Z.; EL ACHABY, M.; MALHA, M.; BENSALAH, M. O.; FASSI FEHRI, O.; BOUHFID, R.; BENMOUSSA, K.; QAISS, A. *Mechanical and thermal properties of natural fibers reinforced polymer composites: Doum/low density polyethylene*. 2013, *Materials & Design*, 43, 200-205.
- [3] MULINARI, D. R. *Comportamento térmico, mecânico e morfológico dos compósitos de polietileno de alta densidade reforçados com fibras de celulose do bagaço de cana de açúcar*. 2009, 112f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, SP.
- [4] MANO, E. L.; MENDES, L. C. 1999. *Introdução a polímeros*. São Paulo-SP Segunda Edição revisada e ampliada. Editora Blucher, p. 191.
- [5] MARINELLI, A. L. et al. *Desenvolvimento de Compósitos Poliméricos com Fibras Vegetais Naturais da Biodiversidade: Uma Contribuição para a Sustentabilidade Amazônica*. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, São Carlos, v. 18, n. 2, p. 92-99, abr. 2008.
- [6] FUJIWARA, H.; *Spectroscopic Ellipsometry: Principles and Application*. Japanese Edition, Tokyo: John Wiley & Sons Ltd, 2003.
- [7] NUNES, N. F. et al; *Caracterização Elipsométrica de Nióbio Metálico*. *Anais do 71º Congresso Anual ABM – Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração*; São Paulo, SP, 2016.
- [8] TOMPKINS, H. G. 1993. *A User's Guide to Ellipsometry*. s.l.: Dover Publications, Inc., 1993
- [9] KRELING, A.; *Estudo do efeito da espessura e da temperatura de recozimento nas propriedades ópticas e morfológicas de filmes finos de nitreto de silício*; Dissertação de Mestrado, Orientador: Ladário da Silva, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica da Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, RJ, 2015.
- [10] GARCIA, M. T. D.; COUTO, J. C. M.; HUGUENIM, J. A. O.; SILVA, L.; *Caracterização de óleo em folha-de-flandres por elipsometria*. *Anais do 70º Congresso Anual ABM – Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração*; São Paulo, SP, 2015.
- [11] SEMILAB Co. Ltd. 2012. *SEA User's Reference Manual*. 2012.

Alternativas para Diminuição da Carga Térmica, Levando Em Consideração a Eficiência Energética – Um Estudo De Caso

1st Ricardo Alex Dantas da Cunha
Departamento de Mecânica
IFPA
Parauapebas, Brasil
ricardo.alex@ifpa.edu.br

4th Luanny Thayelly Reis Costa
Departamento de Mecânica
IFPA
Parauapebas, Brasil
luannythaeyelly17@gmail.com

2nd Camila Angra Sousa Carvalho
Departamento de Mecânica
IFPA
Parauapebas, Brasil
camilaangra345@gmail.com

line 1: 5th Lucas Araújo do Nascimento
Departamento de Mecânica
IFPA
Parauapebas, Brasil
lucas.nascimento@ifpa.edu.br

3rd Emily Vitória Dias de Brito
Departamento de Mecânica
IFPA
Parauapebas, Brasil
livemillyvik@gmail.com

6th Francisco Silva e Serpa
Departamento de Mecânica
IFPA
Parauapebas, Brasil
francisco.serpa@ifpa.edu.br

Abstract — The use of air conditioning units is necessary in school environments to bring more thermal comfort to the students in any class. Therefore, the expenditures foreseen in the budgets of educational institutions demand high values for the consumption of electric energy. The objective of this study is to carry out a case study at the Federal Institute of Education, Science and Technology of Para - Campus Parauapebas to determine the average electric energy consumption of the campus air conditioning systems. Specifically do it in an energy efficiency vision by identifying the average monthly consumption of air conditioners in certain classrooms and their time of use, as well as the average expenditure in reais of energy consumption. Finally, with the results of these studies, develop feasible alternatives to reduce the average consumption of air conditioning systems and alternatives to improve their energy efficiency, and suggest ways for the public budget due to the saving of electric energy for the students of the institution. The results showed that one of the ways to save energy would be power off the air conditioner during the student shift period, around one hour and thirty minutes. This shift occurs in a seasonal period more intense between noon and 1:30 p.m. In the afternoon, where the solar incidence is high, as well as the installation of blinds in the glass windows on the west side of the study classrooms, seen by the lifting of the thermal load that this phase generates the greater heat transfer both for the windows and the walls. As a result, the air conditioning system provides a thermal comfort and its energy efficiency must be taken into account. In order to have an improved efficiency it is fundamental that the construction of windows and walls of the refrigerated rooms meet the standards to avoid unwanted heat input, keeping the environment cool and comfortable.

Keywords— *Energy efficiency, Economy, Energy consumption, Air-conditioning system.*

I. INTRODUÇÃO

No intuito de promover a interação entre os conhecimentos apresentados nos anos letivos, serão desenvolvidos projetos integradores que possibilitam a visão crítica e integrada dos conhecimentos, buscando a constante inovação, criatividade e o desenvolvimento de competências. O modelo de integração de conhecimentos permite o desenvolvimento de competências a partir da aprendizagem pessoal e não somente através do ensino unilateral. Os projetos integradores procuram estabelecer a ambientação da aprendizagem, estimulando a resolução de problemas. Neste plano, o desenvolvimento de projetos integradores tem por

objetivo integrar os conhecimentos do mesmo ano letivo, promovendo o desenvolvimento de competências, como a capacidade pessoal de mobilizar, articular e colocar em ação conhecimentos, habilidades, atitudes e valores necessários para o desempenho eficiente e eficaz de atividades requeridas pelo mundo do trabalho e pelo desenvolvimento tecnológico [1]

Com isso, o trabalho tem como objetivo integrar os conceitos de mecânica, nas subáreas que margeiam a área da eficiência energética, voltadas para os sistemas de ar-condicionado (área térmica), dando relevância também as questões ambientais, diante disso, [2] relatou que nos últimos anos, muitos países vêm desenvolvendo normas de eficiência energética e de desempenho térmico de edificações residenciais e comerciais. Nas unidades habitacionais autônomas é avaliado o desempenho da envoltória dos ambientes de permanência prolongada e o aquecimento da água. Para as edificações multi-familiares é avaliado o desempenho da envoltória e áreas de uso comum, o aquecimento da água, o sistema de iluminação, ventilação natural e artificial e dos equipamentos. A classificação do nível de eficiência da envoltória compreende requisitos de área das aberturas para iluminação e ventilação, das condições de sombreamento, orientação das fachadas e propriedades térmicas das paredes e coberturas. O desempenho térmico de edificações determinam características térmicas para as paredes e coberturas (transmitâncias térmica e absorvância e capacidade térmica), áreas mínimas aberturas para ventilação e dispositivo de sombreamento para as aberturas.

No atual contexto mundial são cada vez mais presentes as preocupações com o processo do desenvolvimento sustentável. No seguimento do paradigma do desenvolvimento sustentável, surgiu o conceito de construção sustentável, cujo objetivo principal é a “criação e gestão responsável de um ambiente construído saudável, tendo em consideração os princípios ecológicos e a utilização eficiente de recursos”. Uma das principais causas do elevado consumo energético dos edifícios é o fato de estes apresentarem um comportamento dissipativo, devido à não utilização de eficientes soluções de isolamento térmico, o que leva à inadequada utilização de equipamentos de climatização. Torna-se, assim, particularmente importante que os profissionais do setor contribuam para inverter a tendência, adaptando uma concepção sustentável dos edifícios, através do recurso a técnicas passivas e/ou ativas

que melhorem a sua eficiência energética, sem que contudo essa ação contribua para o significativo aumento do custo de produção do edifício [3].

Num contexto ambiental, [4] diz que o termo meio ambiente tornou-se comum no cotidiano dos brasileiros, sobretudo após a ECO-92 (ou RIO 92) - Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro em 1992. Essa conferência, com seus desdobramentos, fomentou um uso frequente da expressão meio ambiente no nosso dia a dia, seja nas escolas, comunidade ou nos veículos de comunicação social, tornando-a comum em nossas falas.

Diante disso, o objetivo final é determinar formas alternativas para diminuição do consumo de energia elétrica no Campus Parauapebas.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nessa seção serão discutidos trabalhos acadêmicos relacionados com a eficiência energética de instalações prediais, levando em consideração sistemas de ar-condicionado, dando respaldo a questão ambiental e sustentável.

A. Eficiência Energética

Referência [5] que o consumo de energia em qualquer imóvel está relacionado aos ganhos ou perdas de calor pela envoltória da construção, que associados à carga interna gerada pela ocupação, pelo uso de equipamentos e pela iluminação artificial, resultam no consumo dos sistemas de condicionamento de ar. A eficiência energética deve atender aos requisitos relativos à eficiência e potência instalada do sistema de iluminação, eficiência do sistema de condicionamento do ar e o desempenho térmico, certo que as grandes áreas de janela permitem ganhos ou perdas excessivas de calor, ou seja, há um acréscimo no consumo anual de energia, as proteções solares é uma das maiores alternativas na eficiência energética da envoltória. Portanto a utilização de proteção solares proporciona redução de consumo de energia devido ao aumento do sombreamento em relação às janelas.

Sob a temática de eficiência energética, [6], em seu trabalho afirma que as edificações apresentariam oportunidades expressivas de redução de custos e economia de energia por meio do uso de produtos tecnologicamente mais eficientes e modernos, ações de conscientização de seus usuários ou ainda pela implantação de sistemas de gerenciamento da energia utilizada. Estima-se que todo o custo operacional de um edifício ao longo de sua vida supere o custo total de construção do mesmo, sendo que energia elétrica é um dos principais custos operacionais. Por isso é importante investir em produtos tecnologicamente mais eficientes, ou mudanças arquitetônicas que visem conservar energia, não apenas para evitar desperdícios, mas para que não sejam necessários novos investimentos em obras de geração.

Tendo em vista que durante muitos anos, os edifícios são condicionados artificialmente por meio de aparelhos mecânicos e elétricos para aquecer, arrefecer, ventilar e iluminar. Com isso, o envoltório do edifício deixou de ser o principal moderador do clima exterior no ambiente interno e os projetistas passaram a abdicar da responsabilidade da

climatização natural e da suficiência de energia. Com a crescente preocupação ambiental e energética, torna-se cada vez mais necessária a busca de alternativas para solucionar essa dependência por meio de estratégias passivas de climatização natural e de geração de energia de maneira alternativa. Para os países de clima quente da Europa, foi elaborada uma proposta de revisão da norma Passivhaus, chamada Passive-On. Esta não visa somente manter as casas aquecidas no inverno, mas também conseguir casas frescas no verão, atingindo, assim, a redução do consumo energético dos sistemas. Além disso, foram adotadas estratégias que visam à sustentabilidade, como o uso de um painel solar alternativo para aquecimento da água de consumo [7].

Para viver em um ambiente termicamente confortável nos faz ter uma saúde melhor e produtividade, principalmente nos trabalhos, segundo [8] afirma que o homem moderno passa, em média, 87% do dia em ambientes fechados; como a maior parte do ar inalado é ar contido nesses ambientes, o monitoramentos e estudos sobre a qualidade desse ar são importantes. Os modernos edifícios aclimatados artificialmente podem criar um ambiente ameaçador à saúde humana. Por serem hermeticamente fechados, causa a redução drástica da captação do ar externo, apresentando problemas quanto à regulação da umidade e temperatura do ar, e conseqüentemente o aparecimento de diferentes espécies de microrganismos. Ambientes aclimatados artificialmente possuem uma infinidade de componentes químicos (substâncias tóxicas, carcinogênicas, radioativas) e biológicos (microrganismos patogênicos) emitidos por diversas fontes, e que, dependendo das condições físicas (umidade do ar, temperatura do ar, ventilação inadequada) do ambiente, podem interagir entre si. O ar condicionado é contaminado por partículas, poeira ou filtros colonizados uma vez que estas partículas são geradas em sua maioria por hospedeiros animados. Portanto é de extrema importância que as centrais de ar do interior dos ambientes fechados, sejam limpas regularmente, pois esse ar pode ser mais poluente do que o ar exterior

B. Sistemas de Ar-Condicionado

Referência [9] afirmou que o ar condicionado de conforto é definido como sendo o processo de condicionamento de ar para controle de temperatura, umidade, pureza e distribuição, com objetivo de proporcionar conforto aos ocupantes do recinto [10]. Os sistemas de climatização fazem transferência de energia utilizando água, ar ou fluido refrigerante. Os equipamentos de pequeno porte, como os aparelhos de janela, o ar é diretamente resfriado pelo fluido refrigerante, sendo esse processo denominado expansão direto [11]. O principal problema ambiental relacionado aos equipamentos de ar condicionado é o gás refrigerante, que contribui para a destruição da camada de ozônio, que filtra os raios ultravioletas do sol. Os equipamentos mais modernos não utilizam mais esse tipo de gás, no entanto a maioria dos equipamentos retirados em projetos de conservação de energia possui esse gás, e para evitar prejuízos ao meio ambiente é necessária a realização do descarte adequado por empresa especializada.

Os refrigeradores são dispositivos cíclicos e os fluidos de trabalho utilizados nos ciclos de refrigeração, são chamados

refrigerantes. Um refrigerador é mostrado de forma esquemática na Fig. 01

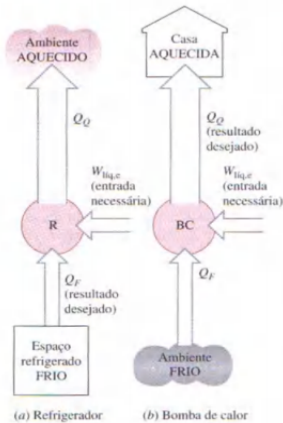


Fig. 1. Esquema para os sistemas de Ar-Condicionado [12]

O ciclo resultante e chamado de ciclo ideal de refrigeração por compressão de vapor, é mostrado de forma esquemática no diagrama T-s ver na Fig. 02. O ciclo de refrigeração por compressão de vapor é o mais usado para refrigeradores, sistemas de condicionamento de ar e bombas de calor. Ele consiste em quatro processos.

- 1-2 Compressão isentrópica em um compressor
- 2-3 Rejeição de calor a pressão constante em um condensador
- 3-4 Estrangulamento em um dispositivo de expansão
- 4-1 Absorção de calor a pressão constante em um evaporador.

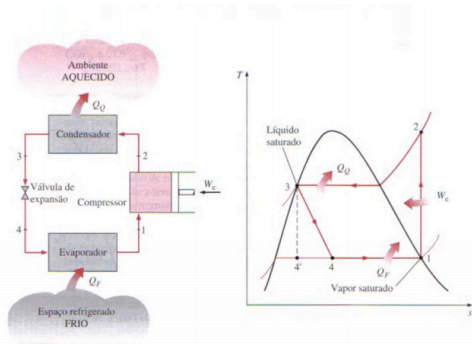


Fig. 2. Diagrama Temperatura versus Entropia para um sistema termodinâmico à compressão de vapor. (Çengel, 2013)

Referência [12] explica que um ciclo de refrigeração ideal por compressão de vapor o refrigerante no estado 1 como vapor saturado é comprimido de forma isentrópica até a pressão do condensador. A temperatura aumenta durante esse processo de compressão isentrópica até acima da temperatura da vizinhança. Em seguida o refrigerante entra no condensador como vapor superaquecido no estado 2 e sai como líquido saturado no estado 3 como resultado de rejeição de calor para a vizinhança. Esse refrigerante líquido saturado é estrangulado até a pressão do evaporador ao passar através de uma válvula de expansão. Durante esse processo, a temperatura do refrigerador cai a baixa da temperatura do espaço refrigerado. O refrigerante entra no evaporador no estado 4 como mistura saturada com

baixo título de vapor e evapora completamente pelo calor absorvido do espaço refrigerado.

C. Meio Ambiente e Sustentabilidade

A questão ambiental tornou-se realmente uma preocupação década de 1970. A Alta Qualidade Ambiental (AQUA) é definida como sendo um processo de gestão de projeto visando obter a qualidade ambiental de um empreendimento novo ou envolvendo uma reabilitação. Uma vez analisadas as principais metodologias de avaliação ambiental de edificações disponíveis conclui-se que o desenvolvimento de diretrizes para a criação de uma certificação direcionada ao contexto brasileiro deve contar com princípios sólidos. Assim o objetivo principal é a preocupação das transformações ambientais, com decorrência dessas transformações desenvolverem um plano sustentável socioeconômico e um desempenho ambiental objetivando análises comparativas em funções de um sistema determinado diante da avaliação ambiental de um determinado edifício [13].

Portanto em busca de mais eficiência energética a climatologia passou a ser aplicada em projetos, originando a arquitetura bioclimática [14]. Os arquivos climáticos servem como base de programas computacionais voltados para análise de conforto, sendo cada vez mais utilizados. Portanto é necessário compreender uso de elementos favoráveis do clima, assim visando o objetivo de reduzir os gastos com energia e melhorar o conforto dos usuários, visando assim à economia financeira de meios a serem aplicados em outros fatores dos ocupantes [15].

A necessidade de um clima confortável é essencial, já que o processo incremental de industrialização e mecanização faz com que número crescente de pessoas passe a maior parcela de suas vidas sob condições ambientais climatizadas, isto é, em climas artificiais.[16] já relatava que o percentual, em muitas vezes, chegava a 95% das horas do dia. Especial atenção é dada para a questão climática, haja vista que é extremamente provável que o homem seja responsável por mais da metade das alterações climáticas ocorridas no mundo nos últimos 60 anos (IPCC, 2014). Sob esse ponto de vista, a Construção Civil – responsável pelo consumo de 40% da energia primária mundial (IEA, 2015) -, tem na eficiência energética das edificações um campo de pesquisas muito interessante, por envolver a maior parte daquelas variáveis. O Brasil, na condição de país em desenvolvimento e economia emergente, enfrenta cada vez mais os desafios comuns às grandes nações do mundo. Afins este projeto tem como objetivo avaliar a eficiência energética de um determinado edifício promovendo possibilidades de economia energética, e a mudança dos paradigmas habituais, uma vez feito isso tendo como consequência uma melhora na eficiência energética e uma melhora para a vida sustentável no Brasil [17].

III. MATERIAIS E MÉTODOS

Nessa seção iremos abordar os materiais e métodos usados para determinarmos meio alternativos levando em consideração o levantamento da carga térmica das salas de aula para diminuir o consumo de energia elétrica das salas de aula do IFPA – Campus Parauapebas.

A. Materiais

O mês considerado para efeito de cálculo segundo a norma ABNT 16401-1 foi o mês de maio com condições externas de temperatura de bulbo seco (TBS) no valor de 33°C, e temperatura de bulbo úmido (TBU) de 19°C, para uma frequência de 2%, uma vez que o projeto não tem alto nível de exigência. A hora considerada foi 12:00 horas, condições internas de TBS = 33°C e umidade relativa de 50% para conforto térmico. As salas de aula localiza-se em Parauapebas/PA, aproximadamente 6,349° de latitude sudoeste (para efeitos de cálculos 20° de latitude sudoeste). Para Os cálculos são efetuados a partir dos dados a seguir: por iluminação, por pessoas, por equipamentos, renovação do ar, funcionamento Contínuo ou Intermitentes, espaço disponível.

A.1. Por iluminação

A carga por iluminação, leva em consideração a área da sala, a quantidade de lâmpadas e sua voltagem. Deve salientar que foram consideradas lâmpadas fluorescentes compactas.

A.2. Por Pessoas

A carga devido às pessoas, considerando um número máximo de pessoas no local. Lembrando que para a carga devido pessoas apresentam calores sensível e latente também leva em consideração o nível de atividade das pessoas envolvidas usou-se nível de atividade como sendo sentado/trabalho leve.

A.3. Por infiltração

Também uma quantidade de calor que é trocado pelo ambiente externo através de portas e janelas.

A.4. Carga de Renovação

É toda e qualquer quantidade de calor que seja trocada para o ambiente externo na entrada e saída de pessoas.

A.5. Por Insolação

É quando uma quantidade de energia solar atinge uma unidade de espaço, considerando que a quantidade de energia seja recebida em diferentes pontos da terra é a mesma. A insolação vai depender da inclinação com que os raios solares se distribuem.

A.6. Condução paredes e Vidros

Quantidade de calor que leva em consideração o tipo de material, variação de temperatura e área.

B. Métodos

Podemos ver na Fig. 03 o fluxograma ilustrativo das atividades desenvolvidas durante o trabalho acadêmico.



Fig. 3. Fluxograma de processamento do Projeto

Primeiramente, foi levantada a problemática para o uso dos ar condicionados, tendo em vista que o uso dos mesmos é essencial no ambiente escolar para um conforto térmico melhor dos ocupantes. Percebemos que o mesmo estava consumindo muito energia elétrica, com uma eficiência energética reduzida.

Em seguida foram determinados os ambientes de estudos, foram feitas avaliações prévias das salas de aula, a qual se avaliou o tempo de uso das centrais de ar por dia, com isso concluiu-se que as salas 04, 05, 07, 08 e 09, as quais estão lotadas por alunos do ensino médio integrado, que passam em média 9h (nove horas) por dia, seria o melhor ambiente para identificar o consumo médio mensal dos ar-condicionados.

Com o constante aumento da energia elétrica no Brasil percebeu-se que o uso de centrais de ar no Instituto de Educação, ciência e tecnologia do Pará - campus Parauapebas demanda muita verba, por isso viu-se a necessidade, que sejam criados métodos de viabilização do uso da mesma, para que o dinheiro economizado seja usado em prol dos alunos do Ensino Médio Integrado.

Como alternativas para o consumo da energia elétrica iremos citar meios para que a carga térmica envolvida nas salas de aula seja diminuída. Deve salientar que a carga térmica será levantada usando a norma 16401/2008 esta trata de projetos de instalação prediais para as instalações dos sistemas de ar-condicionado e centrais unitárias.

Ao analisarmos a necessidade dos alunos do Médio Integrado do IFPA – Campus Parauapebas e a pouca verba destinada aos mesmos, foi discutido que havia a necessidade de técnicas para a economia de verba para que a diferença economizada fosse destinada para o melhor conforto dos alunos. A quantia economizada seria usada para intermédio das compras de uniformes, livros didáticos, produtos de

higiene para os banheiros e manutenções necessárias do campus.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nessa seção, discutiremos os resultados apresentados pelo levantamento da carga térmica realizada no local de estudo (salas de aula), buscando alternativas para a diminuição do consumo de energia elétrica do IFPA – Campus Parauapebas.

IV.1. Por Iluminação

Na carga por iluminação primeiramente foi definida a potência total da lâmpadas fluorescentes compactas (potência de 8 W). Conforme mostrado abaixo.

$$\text{Potência total lâmpadas} = W \times Q$$

$$\text{Potência total lâmpadas} = 28 \times 24 = 672W.$$

Em seguida, foi definida a carga total que leva em consideração os fatores de conversão e a potência total, com isso temos:

$$Q \text{ iluminação} = 0,86 \times PT \times CT$$

$$Q \text{ iluminação} = 0,86 \times 672 \times 1,2 = 693,50 \text{ kcal/h.}$$

IV.2. Por Pessoas

Na carga por pessoa foi definidos a quantidade de pessoas por sala

$$Q_{\text{sensível}} = 0,86 \times 70 \times \text{Pessoas}$$

$$Q_{\text{sensível}} = 0,86 \times 70 \times 40 = 2408 \text{ kcal/h}$$

$$Q_{\text{latente}} = 0,86 \times 45 \times \text{Pessoas}$$

$$Q_{\text{latente}} = 0,86 \times 45 \times 40 = 1548 \text{ kcal/h}$$

IV.3. Por Equipamentos

$$Q_{\text{sensível}} = W \times 0,86$$

$$Q_{\text{sensível}} (\text{computador}) = 70 \times 0,86 = 60,2 \text{ kcal/h}$$

$$Q_{\text{sensível}} (\text{data show}) = 500 \times 0,86 = 430 \text{ kcal/h}$$

IV.4. Por infiltração

$$V_{\text{frestas}} (\text{porta}) = V = 6,5 \text{ m}^3/\text{h} \times \text{metro de frestas}$$

$$V_{\text{frestas}} (\text{porta}) = 53 \times 38 = 91 = 0,91 \text{ m}$$

$$V_{\text{frestas}} (\text{porta}) = 6,5 \times 3,21 = 20,86$$

$$V_{\text{portas}} + V_{\text{janelas}} = V_{\text{total}}$$

$$20,8 + 21,84 = 42,7$$

$$V_{\text{frestas}} (\text{janela}) = 3 \times 0,9 \times 8 = 21,84 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_{\text{portas}} + V_{\text{janelas}} = V_{\text{total}}$$

$$20,8 + 21,84 = 42,7$$

$$Q_{\text{sensível}} (\text{infiltração frestas}) = 0,29 \times V_{\text{total}} \times (T_o - T_i)$$

$$Q_{\text{sensível}} (\text{infiltração frestas}) = 0,29 \times 42,7 \times (33-19) = 173,36$$

$$Q_{\text{latente}} (\text{infiltração frestas}) = 0,71 \times 42,2 \times (17-10) = 212,21$$

A carga devido abrir e fechar de portas pelas pessoas, para portas vai e vem de 0,9 m, temos, para 40 pessoas:

$$V_{\text{portas}} (\text{vai e vem}) = 4 \times \text{pessoas}$$

$$V_{\text{portas}} (\text{vai e vem}) = 4 \times 40 = 160 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{\text{sensível}} \text{ portas} (\text{vai e vem}) = 0,29 \times 160 \times (33-19) = 649,6 \text{ kcal/h}$$

$$Q_{\text{latente}} \text{ portas} (\text{vai e vem}) = 0,71 \times 160 \times (17-10) = 795,2 \text{ kcal/h}$$

IV.5. Carga por Renovação

Vinfiltração total = Vinfiltração fresta + Vinfiltração portas vai e vem

$$V_{\text{infiltração}} \text{ total} = 42,7 + 160 = 202,7 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_{\text{renovação}} \text{ efetiva} = V_{\text{renovação}} \text{ normativa} - V_{\text{infiltração}} \text{ total}$$

$$V_{\text{renovação}} \text{ efetiva} = 2000 - 202,7 = 1797,3 \text{ m}^3/\text{h}$$

Logo temos:

$$Q_{\text{sensível}} \text{ renovação} = 0,29 \times 1797,3 \times 14 = 7297,03 \text{ kcal/h}$$

$$Q_{\text{latente}} \text{ renovação} = 0,71 \times 1797,3 \times 7 = 8932,58 \text{ kcal/h}$$

IV.6. Carga por Insolação (Modo Padrão das Salas de Aula)

Fase sudoeste (SO)

$$\text{Condições de sombreamento} = 1$$

$$\text{Insolação} (I) = 65$$

$$\text{Área} = 37,12 \text{ m}^2$$

$$Q_{\text{insolação}} = A \times I \times C$$

$$Q_{\text{insolação}} = 37,12 \times 65 \times 1 = 2.412,8 \text{ kcal/h}$$

IV.7. Carga por Insolação (Modo Alternativo das Salas de Aula).

Deve salientar que essa seção serão mostradas os valores para a carga por insolação para diminuir o calor absorvido pelos ambientes em estudo. Conforme comentado anteriormente, foi indicado a troca dos vidro para diferentes tonalidades e o uso de persianas nas janelas.

Usando um vidro externo absorvente, cor clara apresentando um coeficiente de sombreamento (C) de 0,32.

$$Q_{\text{insolação}} = A \times I \times C$$

$$Q_{\text{insolação}} = 37,12 \times 65 \times 0,32$$

$$Q_{\text{insolação}} = 772,096 \text{ kcal/h}$$

Uso com vidro sem persiana tom azulado com coeficiente de sombreamento (C) de 0,36.

$$Q_{\text{insolação}} = A \times I \times C$$

$$Q_{insolação} = 37,12 \times 65 \times 0,36$$

$$Q_{insolação} = 868,608 \text{ kcal/h}$$

Uso com vidro com persiana da cor escura com coeficiente de sombreamento (C) de 0,10.

$$Q_{insolação} = A \times I \times C$$

$$Q_{insolação} = 37,12 \times 65 \times 0,10$$

$$Q_{insolação} = 241,28 \text{ kcal/h}$$

IV.8. Carga por condução

$$Q_{condução \text{ parede}} = A_{parede} \times U_{tijolo} \times \Delta t_e$$

$$\Delta T_e = A + \Delta T_{es} + b \cdot (RS/RM) (\Delta T_{em} - \Delta T_{es})$$

$$\Delta t_e = 5,3 + 1,1 + 0,55 (38/38) (8,9 - 1,1)$$

$$\Delta t_e = 10,69$$

$$Q_{condução \text{ parede}} = 35,508 \times 1,6 \times 10,69$$

$$Q_{condução \text{ parede}} = 607,33 \text{ kcal/h}$$

$$Q_{condução \text{ vidro}} = A_{vidro} \times V_{vidro} \times (T_s - T_i)$$

$$Q_{condução \text{ vidro}} = 1,612 \times 4,0 \times (33 - 19)$$

$$Q_{condução \text{ vidro}} = 90,38 \text{ kcal/h}$$

A seguir será demonstrado na Tab. 01 os valores finais dos calores sensíveis e latentes com a conversão para TR e BTU para toda o levantamento da carga térmica do local estudado sem as alternativas impostas para diminuição do calor absorvido pela sala de aula, conseqüentemente aumentando o consumo de energia elétrica pelos ar-condicionado. Diante disso foi visto um valor total de 80532,18 BTU/h de vazão mássica que a sala de aula exige para ter um conforto térmico anteriormente definido no projeto

TABLE I. PANORAMA GERAL PARA O LEVANTAMENTO DA CARGA TÉRMICA (LCT)

	Calor Sensível (C.S.)	Calor Latente (C.L.)	TR	BTU
Iluminação	74,30	0	0,024	294,84
Pessoas	2408	1548	0,001	15,63
Equipamentos	490,2	0	0,162	1945,23
Infiltração	173,36	212,21	0,127	1530,03
Renovação	7297,03	8932,58	5,366	64403,17
Insolação face SO	2412,8	0	0,797	9574,60
Condução na face SO (Tijolos)	607,33	0	0,200	2410,03
Condução na face SO (Vidros)	90,38	0	0,029	358,65
TOTAL	11147,8	9146,33	6,706	80532,18

Já na tabela 02, podemos ver que o valor total para a quantidade de BTU/h da sala de aula caiu se considerarmos alternativas para diminuição da quantidade de BTU, como por exemplo o uso de vidro externo com e sem persianas e a coloração para os mesmos com tons que variarão entre cor

clara até cor escura. Deve salientar que para a insolação na face Sudoeste (SO) na sala em estudo encontra-se sem nenhuma condição especial para os vidros.

Diante disso, se considerar a insolação na face SO um vidro externo absorvente coloração clara o valor total para a carga térmica (CT) teremos um decréscimo em torno de 7,6% saindo de 80532,18 para 74404,43 BTU/h para tal condição.

Já para a Insolação na face SO com vidro sem persiana tom azulado, obtivemos um valor total para a CT de 74021,45 BTU/h, isso representou um decréscimo de carga térmica de 8,09 %.

Quando a condição para a sala de aula na face (SO) de insolação 10,7% com vidro e persiana cor escura a CT passou de 80532,18 para 71915,04 BTU/h, alcançando um diminuição em torno de 11%. Valor este representativo no consumo total de energia elétrica por parte dos ar-condicionado.

Levando em consideração o preço médio por Kwh consumido em torno de 0,45R\$ dentre os meses de estudo (março a junho/2018), reduzindo em 11% dos BTU usado em cada sala de aula (cinco no total) conseguiríamos economizar uma estimativa em torno de 5.000 R\$ nesse período. Essa estimativa foi definida retirando os 11% da economia nos BTU das salas de aula na potência de Kwh consumida e multiplicando pelo valor médio em reais (0,45R\$). Se formos projetar anualmente essa economia seria em torno de 15000R\$, só com o uso das centrais de ar. Lembrando que os valores para o devido cálculo se encontra em anexo..

TABLE II. ALTERNATIVAS PARA DIMINUIÇÃO DA QUANTIDADE DE BTU'S IMPOSTO NAS SALAS DE AULA

	Calor Sensível (C.S.)	Calor Latente (C.L.)	TR	BTU
Iluminação	74,30	0	0,024	294,84
Pessoas	2408	1548	0,001	15,63
Equipamentos	490,2	0	0,024	294,84
Infiltração	173,36	212,21	0,001	15,63
Renovação	7297,03	8932,58	0,162	1945,23
Insolação face SO com vidro externo absorvente – cor clara	868,608	0	0,127	1530,03
Insolação face SO com vidro sem persiana tom azulado	772,096	0	5,366	64403,17
Insolação face SO com vidro com persiana – cor escura.	241,28	0	0,287	3446,85
Condução na face SO (Tijolos)	607,33	0	0,255	3063,87
Condução na face SO (Vidros)	90,38	0	0,079	957,46

V. CONCLUSÕES

A partir dos resultados experimentais apresentados na seção anterior pode-se concluir que:

A partir dos resultados experimentais apresentados na seção anterior pode-se concluir que:

- A utilização de vidro e persiana cor escura se mostrou mais favorável para utilização nas salas de aula.
- decréscimo máximo para a quantidade de carga térmica (CT) foi em torno de 11%, saindo 80532,18 para 71915,04 BTU/h.
- A economia gerada com o possível uso de persiana nas janelas de vidro em torno de 5.000 R\$ em quatro meses de estudo.
- Alternativas para diminuição da carga térmica (CT) se torna viável para o melhor conforto térmico.

ACKNOWLEDGMENT

Agradeço ao IFPA/ Campus Parauapebas pelo apoio a pesquisa.

REFERENCES

- [1] Plano Pedagógico de Curso. Curso Técnico Integrado ao Ensino Médio, 2016. Não publicado.
- [2] SORGATO, Marcio José; VERSAGE, Rogério; LAMBERTS, Roberto. Sombrear ou não sombreador janelas. Nota técnica, n. 02, 2011.
- [3] GANHÃO, Antônio Miguel Ganço Dias. Construção Sustentável-Propostas de melhoria da eficiência energética em edifícios de habitação. 2011. Tese de Doutorado. FCT-UNL.
- [4] AIRES, Berenice Feitosa da Costa; BASTOS, Rogério Pereira. Representações sobre meio ambiente de alunos da educação básica de Palmas (TO). 2011.
- [5] FOSSATI, Michele; LAMBERTS, Roberto. Eficiência energética da envoltória de edifícios de escritórios de Florianópolis: discussões sobre a aplicação do método prescritivo do RTQ-C. Ambiente Construído, v. 10, n. 2, p.59-69, 2010.
- [6] KRÜGER, Eduardo Leite; MORI, Fabiano. Análise da eficiência energética da envoltória de um projeto padrão de uma agência bancária em diferentes zonas bioclimáticas brasileiras. Ambiente Construído, v. 12, n. 3, p. 89-106, 2012.
- [7] VETTORAZZI, Egon; RUSSI, Madalena; SANTOS, Joaquim CP. A utilização de estratégias passivas de conforto térmico e eficiência energética para o desenvolvimento de uma habitação unifamiliar. Porto Alegre, 2010.
- [8] MORAIS, Gilsimeire Rodrigues et al. Qualidade do ar interno de uma instituição de ensino superior. Bioscience Journal, v. 26, n. 2, 2010.
- [9] JÚNIOR, VARGAS; RAUNILDO, H. Análise do Potencial de Conservação de Energia Elétrica em Hospitais Públicos de Pequeno Porte no Brasil: Sistemas de Iluminação e Ar Condicionado do Tipo Janela. 2006. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro-RJ.
- [10] STOECKER, Wilbert F. ; JONES, Jerold W. Refrigeração e ar condicionado . McGraw-Hill do Brasil, 1985.
- [11] PENA, S. Meirelles. Sistemas de ar condicionado e refrigeração. PROCEL EPP, RJ, 2002.
- [12] BENGEL, Yunus A. Transferência de calor e massa. McGraw Hill Brasil, 2007 [13]
- [13] SCHIRMER, Waldir Nagel; GAUER, Mayara Ananda; SZYMANSKI, Mariani Silvia Ester. Qualidade do ar interno em ambientes hospitalares climatizados-verificação de parâmetros físicos e da concentração de dióxido de carbono. Tecno-Lógica, v. 14, n. 2, p. 61-68, 2010.
- [14] OLGAY, Victor; FRONTADO, Josefina. Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Gustavo Gili, 1998.
- [15] FLORES, Michelle Gomes et al. Geração da base climática de Santa Maria-RS- Para Análise de Desempenho Térmico e Eficiência Energética de Edificações. 2014.
- [16] FANGER, Poul O. et al. Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering. Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering., 1970.
- [17] RODRIGUES, Marcus Vinicius de Paiva et al. Avaliação da eficiência energética de edificações residenciais em fase de projeto: análise de desempenho térmico pelo método prescritivo e por simulação computacional aplicados a estudo de caso de projeto-tipo do exército Brasileiro. 2015.

Estudo da síntese e caracterização de uma matriz vítrea para a produção de um vidro nanoestruturado

Maisa Azevedo Dalbone de Carvalho
*Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Metalúrgica (PPGEM)*
Universidade Federal Fluminense (UFF)
Volta Redonda, Brasil
maisaaezevedo@id.uff.br

Thais Mota Carvalho
Instituto de Ciências Exatas (ICEx)
Universidade Federal Fluminense (UFF)
Volta Redonda, Brasil
thaismotacarvalho@id.uff.br

Giseli Cristina Ribeiro
*Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Metalúrgica (PPGEM)*
Universidade Federal Fluminense (UFF)
giseli_ribeiro@id.uff.br

Ladário da Silva
*Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Metalúrgica (PPGEM)*
Instituto de Ciências Exatas (ICEx)
Universidade Federal Fluminense (UFF)
Volta Redonda, Brasil
ladariosilva@id.uff.br

Resumo — *O vidro é um dos materiais mais utilizados na sociedade moderna devido as incontáveis aplicações, as novas tecnologias empregadas a ele e a sua estética. Os vidros podem ser usados em conjuntos com filmes finos depositados por diferentes técnicas. Esse trabalho apresenta o estudo da síntese de uma matriz vítrea a fim de produzir um filme nanoestruturado, isto é, apresentando um filme com nanopartículas de cobre. As propriedades ópticas foram obtidas pela técnica de elipsometria. O caráter não-cristalino foi verificado pela técnica de difração de raios X e sua superfície foi caracterizada pela microscopia confocal.*

Keywords — *matriz vítrea; nanopartículas; elipsometria; microscopia confocal*

I. INTRODUÇÃO

A formação do vidro possui características únicas, o que torna difícil sua classificação. Zanotto e Mauro [1] afirmam que o vidro pode ser definido como um não-equilíbrio do estado não-cristalino da matéria condensada que exibe o fenômeno de transição vítrea. Esses materiais possuem propriedades dos sólidos, em escala de tempo humano, mas relaxam espontaneamente e fluem deformando-se em direção ao líquidos super-resfriados [1].

Por séculos, os vidros foram empregados em diversas aplicações, como envidraçados e recipientes. Atualmente estão tendo novas aplicações, como no campo da nanotecnologia [2].

Vidros com NPs metálicas têm despertado um grande interesse devido às propriedades relacionadas com a formação de ressonância de plasmons de superfície, possibilitando aplicação em óptica. Esse fenômeno ocorre na região do visível para metais nobres como Au, Ag e Cu.

A matriz vítrea sintetizada para este trabalho foi dopada com ions de cobre, matriz ativa para o crescimento de filme de Cu nanoestruturado.

Um estudo preliminar foi realizado a partir da caracterização dessa matriz vítrea, utilizando a técnica de elipsometria, de difração de raios X e a microscopia confocal de varredura a laser.

A elipsometria é um método óptico que permite medir propriedades como o índice de refração, o coeficiente de extinção e a espessura de uma amostra. O método consiste em determinar as propriedades de um material através das mudanças no estado de polarização da luz, causada pela reflexão numa superfície. A ideia básica da elipsometria é medir a mudança do estado inicial de polarização do feixe luminoso após sua incidência e interação com a amostra que se quer analisar. Essa interação pode se dar por reflexão, refração, transmissão ou espalhamento [3].

A técnica de difração de raios X baseia-se na capacidade dos cristais difratarem os raios X de uma maneira característica, permitindo um estudo preciso da estrutura das fases cristalinas. Os padrões de difração registrados contêm contribuições de várias características micro e macroestruturais de uma amostra. Com a posição dos picos, são analisadas a estrutura cristalina, os parâmetros de rede, a fases mineralógicas, e outros [4]. Em última análise, com essa técnica verifica-se a presença de picos de cristalinidade.

O Microscópio Confocal é utilizado para análise da topografia e rugosidade da superfície, e também para aumentar o contraste da imagem microscópica e construir imagens tridimensionais [5], possuindo grande capacidade de ampliação e excelente regulação no foco.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

Foi sintetizada uma matriz vítrea com o fim de crescimento de filme metálico nanoestruturado, para a

Os autores deste estudo agradecem à Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP, pela compra do Elipsômetro Espectroscópico SEMILAB GES 5S e do Microscópio Confocal Interferométrico LEICA DCM3D.

execução deste trabalho. Primeiramente, para a preparação da amostra, foram determinadas as proporções de cada um dos reagentes, pesados, posteriormente, em uma balança eletrônica e misturados em um almofariz para processo de homogeneização. A composição do material desenvolvida para a realização desse trabalho foi elaborada com os seguintes reagentes:

- 5% cloreto de cobre II;
- 10% carbonato de cálcio;
- 15% carbonato de sódio;
- 35% sílica;
- 35% ácido bórico.

Devido à alta temperatura de fusão da sílica, foi necessário adicionar certa quantidade de íons Na na forma de carbonato de sódio e fosfato, o sódio funciona como um modificador da estrutura, baixando o ponto de fusão do material para se adequar a temperatura do forno utilizado. O ácido bórico foi convertido em B_2O_2 devido à alta temperatura que foi submetido no processo de fusão. O óxido bórico e o dióxido de silício agem como formadores da rede vítrea. O carbonato de cálcio foi utilizado para evitar a cristalização, dificultando a organização dos átomos na rede vítrea.

Para fundir a composição, foi utilizado um forno pré-aquecido da Escola de Engenharia de Lorena – USP, ilustrado na Fig.1.



Fig. 1. Forno sendo usada para síntese do vidro. (Acervo próprio).

A mistura foi fundida em um cadinho de platina/ouro a $1400^{\circ}C$ por 15 min e posteriormente vertido no molde de aço inox. Foram fundidas duas amostras com a mesma composição. As amostras foram lixadas manualmente a partir da lixa 800 mesh passando por toda a sequência de lixas até 2000 mesh. Para a realização do polimento, foram utilizadas a pastas de diamante de $1,0\mu m$ e $0,25\mu m$.

As amostras obtidas apresentam uma coloração verde escura devido ao cloreto de cobre, conforme pode-se observar na Fig. 2.

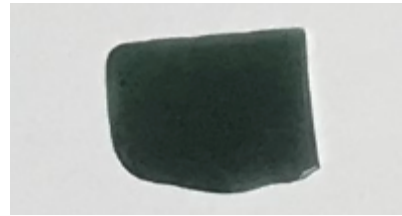


Fig. 2. Amostra de vidro sintetizado. (Acervo próprio).

A fim de explorar as propriedades ópticas, utilizou-se um elipsômetro espectrométrico Semilab GES 5S, mostrado na Fig. 3 sendo usado com a amostra de vidro. Foi utilizado o modelo de bulk para caracterizar o material através da elipsometria.

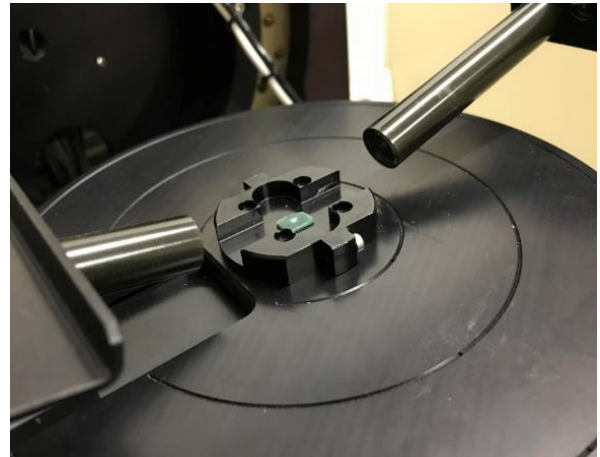


Fig. 3. Elipsômetro espectrométrico Semilab GES 5S sendo usado para medidas elipsométricas. (Acervo próprio).

O microscópio confocal interferométrico Leica DCM3D foi utilizado para análise da rugosidade da superfície (Kreling, 2015), como ilustrado na Fig. 4.

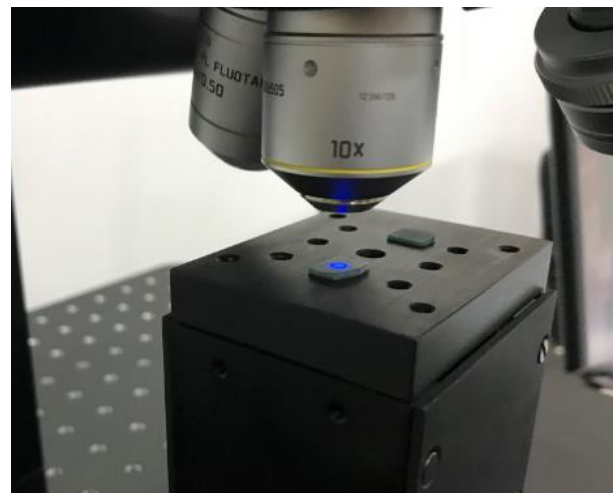


Fig. 4. Microscópio confocal medindo a rugosidade do vidro. As amostras são visíveis no porta-amostra. (Acervo próprio).

Além disso, uma parte da amostra foi triturada no almofariz para ser avaliada por difração de raios X em pó.

III. RESULTADOS PRELIMINARES

A partir da amostra produzida, foi analisada a estrutura cristalográfica pela técnica de difração de raios-X em pó com radiação de cobre com tensão de 40 kV e corrente de 30 mA. Para esta análise, foi utilizado o equipamento DRX PAN Analytical PIXcel 3D modelo Emyrean do Departamento de Materiais da USP de Lorena.

Desse modo, a ausência de picos definidos de cristalinidade da amostra de vidro foi confirmada, usando o software Match! 3, uma vez que seu difratograma indica ausência de arranjo atômico de longo alcance, como ilustrados nos espectros de difração de raios X das amostras de vidro. A Fig. 5 exibe um difratograma de uma das amostras.

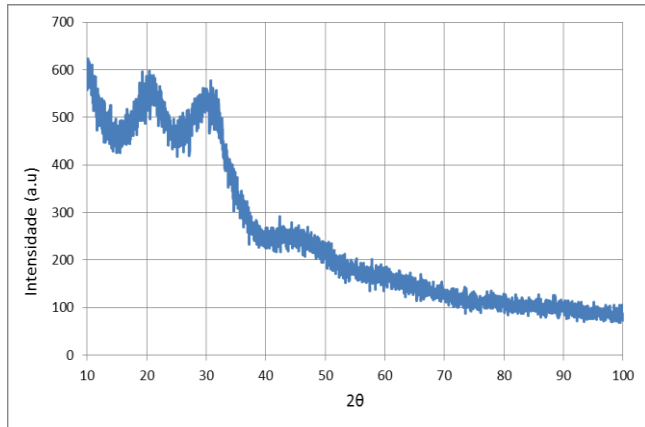


Fig. 5. Padrão de difração de raios X das amostras de vidro investigadas. (Acervo próprio).

Para a técnica de caracterização de análise de vidro, é muito importante o controle da superfície da amostra, afinal, é ideal conseguir uma superfície bastante lisa. A Fig. 6 representa a topografia da amostra, indicando uma superfície irregular.

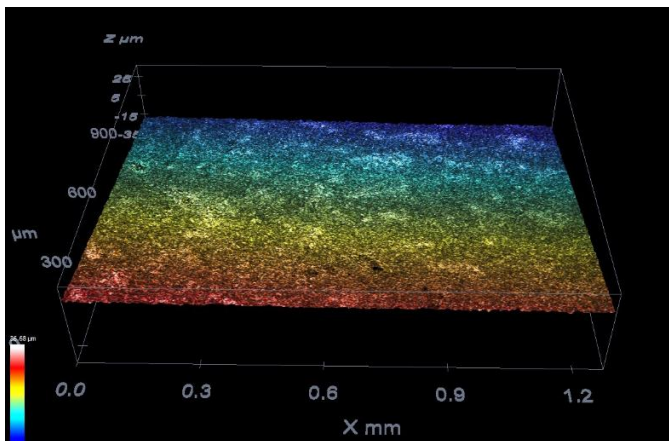


Fig. 6. Topografia realizada com o microscópio confocal. (Acervo próprio).

Assim, utilizando a microscopia confocal, foi analisada a rugosidade em 5 pontos da amostra. Na tabela 1, a seguir, são apresentados os resultados da rugosidade média (R_a) encontrados, além da média desses valores e do desvio padrão.

TABELA I RUGOSIDADE DA AMOSTRA

Pontos	Rugosidade R_a (μm)
P1	1,222
P2	1,286
P3	1,241
P4	1,198
P5	1,248
Média	1,24
Desvio Padrão	0,03

A partir dessa tabela, constata-se que a amostra tem uma média de $(1,24 \pm 0,03)$ μm de rugosidade. Em seguida as amostras foram polidas a fim de diminuir essa rugosidade. A amostra também foi caracterizada por meio de medidas de elipsometria. Foram selecionados três diferentes pontos desta, denominados P1, P2 e P3 para realizar a aferição. A partir do modelo de bulk [4], o índice de refração (n) e o coeficiente de extinção (k) encontrados foram muito semelhantes em todos os pontos, conforme pode ser observado nas Fig. 7 e Fig. 8 para uma das amostras.

O vidro sintetizado possui 35% de sílica e 35% ácido bórico em sua composição, sendo essa a maior parcela dos reagentes. Através da literatura, para vidros borossilicatos, o índice de refração é de 1,47 [6]. Pode-se constatar que os índices de refração encontrados são um pouco abaixo 1,5, exibindo valores esperados.

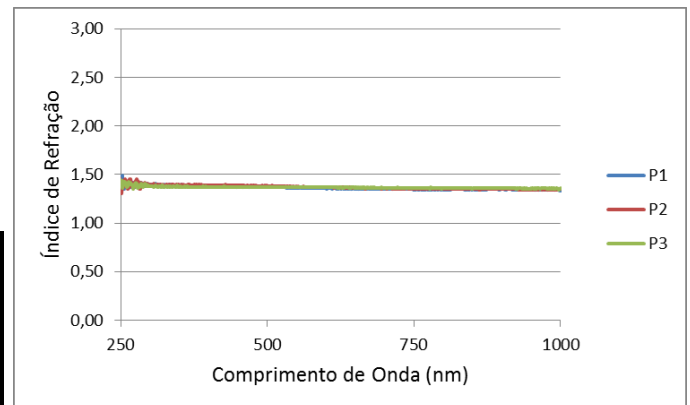


Fig. 7. Medidas do índice de refração realizadas em diferentes pontos (P1, P2 e P3) da superfície (Acervo próprio).

O coeficiente de extinção para vidros transparentes é de aproximadamente zero, uma vez que indica a quantidade de luz absorvida [3]. Para todos os três pontos, o coeficiente de extinção da amostra é um pouco maior, estando aproximadamente entre 0,1 e 0,2.

Dessa maneira, pode-se observar que este vidro é um material mais absorvente que os vidros transparentes, devido a característica dada pelo cloreto de cobre II, que a deixou verde escuro, como ilustrado anteriormente.

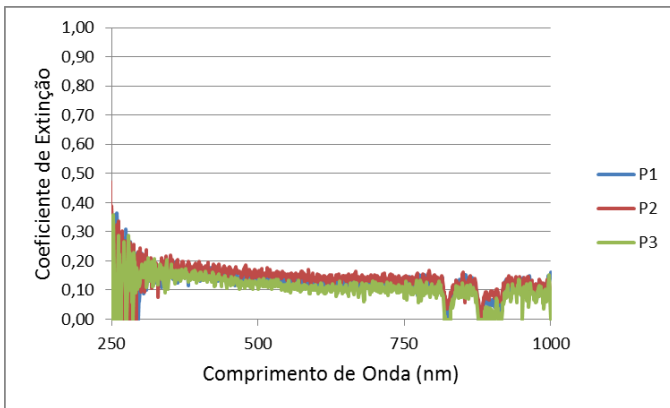


Fig. 8. Medidas do coeficiente de extinção realizadas em diferentes pontos (P1, P2 e P3) da superfície. (Acervo próprio).

IV. CONCLUSÃO

Este estudo preliminar mostrou a capacidade de construir uma matriz vítrea, não-cristalina, cujas propriedades ópticas foram medidas. Pretende-se então reproduzir o experimento para verificar a reprodutibilidade do vidro, suas propriedades ópticas e medir sua temperatura de transição vítrea. Além

disso, planeja-se realizar o tratamento térmico para o crescimento das nanopartículas de cobre e estudar novas composições, alterando a proporção do cloreto de cobre II para poder comparar as propriedades óticas antes e depois do crescimento do filme nanoestruturado.

REFERÊNCIAS

- [1] E. D. Zanotto e J. C. Mauro, "The glassy state of matter: Its definition and ultimate fate", *Journal of Non-Crystalline Solids*, vol. 471, p. 490–495, set. 2017.
- [2] E. Le Bourhis, *Glass: mechanics and technology*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag, 2008.
- [3] H. Fujiwara, *Spectroscopic ellipsometry: principles and applications*, Printed with corrections. Chichester: Wiley, 2009.
- [4] G. Huebschen, Org., *Materials characterization using nondestructive evaluation (NDE) methods*. Amsterdam ; Boston: Elsevier/Woodhead Publishing, 2016.
- [5] M. T. D. Garcia, "Caracterização de óleos e vidros por elipsometria", Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda-RJ, 2016.
- [6] W. F. Smith e J. Hashemi, *Fundamentos de engenharia e ciência dos materiais*. 2012.

Resistência à corrosão da Liga Ti-6Al-7Nb recoberta com óxido anódico nanoestruturado em meio que simula o fisiológico

Jéssica Nogueira da Cunha
Instituto de Química
Universidade Federal do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro, Brasil
jessynogueira1@gmail.com

Renata Leal Saldanha
Programa de Pós Graduação em Engenharia Metalúrgica
Universidade Federal Fluminense
Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil.
renatalsaldanha@hotmail.com

Luis Felipe Nascimento Guedes
Universidade Federal de Alfenas – Campus de Poços de Caldas, Minas Gerais, Brasil.
lfnguedes@gmail.com

Ladário da Silva
Instituto de Ciências Exatas - ICEX
Universidade Federal Fluminense
Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil.
ladariosilva@id.uff.br

Elivelton Alves Ferreira
Instituto de Ciências Exatas - ICEX
Universidade Federal Fluminense
Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil.
eliveltonalves@id.uff.br

Resumo— O titânio e suas ligas são comumente usados como materiais de implantes devido a sua rápida osseointegração. Estudos recentes mostraram que o processo de osseointegração é significativamente afetado pela rugosidade superficial em nanoescala do óxido de titânio, promovendo a adsorção de proteínas e a adesão de células, portanto estes filmes nanoestruturados são ideais para avaliar o efeito do tamanho destas estruturas na presença de matéria viva ou espécies biologicamente relevantes. Neste trabalho foram realizados estudos de crescimento anódico de óxidos nanoestruturados sobre a liga Ti-6Al-7Nb, potenciostaticamente a 25 °C em solução contendo HF cujas estruturas foram confirmadas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). A composição química deste óxido nanoestruturado foi determinada semiquantitativamente pela Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS). Finalmente, os testes eletroquímicos de corrosão em eletrólito que simula o meio fisiológico (solução de Ringer) mostraram que o tratamento da superfície com formação das nanoestruturas compostas por nanotubos de óxido do próprio metal aumenta a resistência à corrosão deste material.

Palavras chaves — Liga Ti-6Al-7Nb, óxido anódico nanoestruturado, corrosão.

I. INTRODUÇÃO

Devido ao aumento da expectativa de vida da população, e ao crescente número de acidentes causados por meios de transportes, a utilização de implantes tem crescido muito nos últimos anos de 5 a 15% por ano. Dentre os materiais utilizados para tal fim, estão os materiais metálicos, que são muito empregados devido a sua boa resistência mecânica, facilidade de fabricação, elevada tenacidade e baixo custo [1].

Os metais têm sido amplamente utilizados como componentes estruturais visando à substituição, reforço ou estabilização de tecidos rígidos, os quais são constantemente submetidos a altas cargas de tração e compressão. Os metais são comumente empregados em fios, parafusos e placas para fixação de fraturas, implantes dentários e próteses para substituição de articulações [2].

Alguns elementos metálicos como o Fe, Cr, Co, Ni, Ti, Ta, Mo, são tolerados pelo organismo em quantidades limitadas, mas em quantidades elevadas esses elementos metálicos não são aceitos pelo corpo humano, o que torna a corrosão metálica passível de acontecer. A escolha do tipo de metal que poderá ser empregado como biomaterial depende de fatores, tais como, o potencial de corrosão desse material e os produtos de corrosão. Com a corrosão, as propriedades mecânicas desses metais se deterioram, levando assim, o comprometimento da sua função [1].

Os processos de corrosão são considerados reações de oxidação-redução em que o metal age como redutor, cedendo elétrons que são recebidos por uma substância denominada como oxidante. Com isso, pode-se dizer que a corrosão é um meio de destruição do metal [3].

O estudo sobre a modificação da superfície de materiais implantáveis vem ganhando destaque devido à necessidade de criar mecanismos para aumentar as interações entre o implante e o organismo e com isso prolongar a vida útil do implante. A alteração da topografia da superfície provoca uma rapidez do processo de osseointegração, o que facilita a vida do ser humano. Além disso, permite a fixação estável entre o osso e o implante o que possibilita a aplicação de carga mecânica sobre o implante. Isso diminui o tempo de tratamento, os custos clínicos e proporciona um efeito psicológico melhor no paciente [4,5].

A modificação da área superficial altera a composição, estrutura e morfologia do implante, mas as propriedades do material seguem inabaladas. Com isso, as propriedades físico-químicas da superfície do material podem melhorar favorecendo assim a biocompatibilidade [6,7].

Pesquisas recentes mostram que a presença de um relevo nanométrico na superfície do material implantado, aumenta o processo de osseointegração, isto ocorre devido o aumento da área superficial provocar uma forte interação eletrostática fazendo com que haja um agrupamento das proteínas no local [8].

A liga Ti-6Al-7Nb sendo um material bioinerte, necessita de um tratamento superficial para se tornar bioativo. Dentre os diversos tratamentos superficiais, a oxidação anódica é a mais viável devido ao seu baixo custo e facilidade [9].

A corrosão por pite é uma das formas mais prejudiciais, pois causa a perda de espessura do material metálico originando perfurações e pontos de concentrações de tensões, provocando assim a diminuição da resistência mecânica do material e conseqüentemente a fratura do mesmo [3].

Os objetivos deste trabalho são fazer o tratamento superficial da liga por anodização a fim de se formar filmes de óxidos anódicos nanoestruturados e verificar se este tratamento aumentou a resistência à corrosão por pites da liga biocompatível em solução que simula o meio fisiológico.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

A. Eletrodos

Os eletrodos de trabalho (ET) foram constituídos da liga Ti-6Al-7Nb, este material foi construído a partir de barras cilíndricas fornecidas por Baoji Xinnuo Metal Materials da China, com o qual foram confeccionados discos de 2 mm de espessura e 1 cm de comprimento. As propriedades da liga Ti-6Al-7Nb como composição química, microestrutura e tração mecânica estão em conformidade com a exigência da ASTM: F1295-11.

O eletrodo de referência utilizado em todos os experimentos foi um eletrodo de prata/cloreto de prata acoplado a um capilar de Luggin. Este eletrodo de referência consiste em um eletrodo de prata imerso em uma solução de cloreto de potássio saturada com cloreto de prata.

Como eletrodo auxiliar (contra-eletrodo) foi utilizado um eletrodo de platina.

B. Células Eletroquímicas

Para a obtenção dos nanotubos utilizou-se uma célula com a parte externa confeccionada de aço inoxidável 316 L e a parte interna de teflon (PTFE) [10]. Para os testes de corrosão, utilizou-se uma célula do tipo Tait [13].

C. Soluções Utilizadas

O eletrólito utilizado para os estudo de crescimento e caracterização dos filme foi uma solução contendo HF. Os ensaios de corrosão foram realizados em solução de Ringer que simula o meio fisiológico.

III. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Foram utilizadas amostras da liga Ti-6Al-7Nb com área de 1 cm². As amostras foram lixadas com lixas de carbetto de silício de diferentes granulometrias (320, 400, 600 e 1200). Em seguida polidas com pasta de diamante com granulometria de 1 µm.

O processo de anodização a formação do filme nanoestruturado foi realizado a 20 V na célula-autoclave. Para isto, acoplou-se na célula eletroquímica uma fonte de alimentação de bancada. Todos os testes de corrosão foram analisados por meio das curvas de polarização numa velocidade de varredura de 1 mV/s numa célula

eletroquímica de vidro do tipo Tait em solução que simula o meio fisiológico.

Foram realizadas análises morfológicas e químicas por meio de um microscópio eletrônica de varredura (MEV) modelo 450 FEG acoplado a Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS).

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na figura 1 é mostrado a curva cronoamperométrica para o processo de anodização feito num intervalo de tempo de 20 minutos para a liga Ti-6Al-7Nb aplicando-se um potencial de 20 V em solução contendo HF.

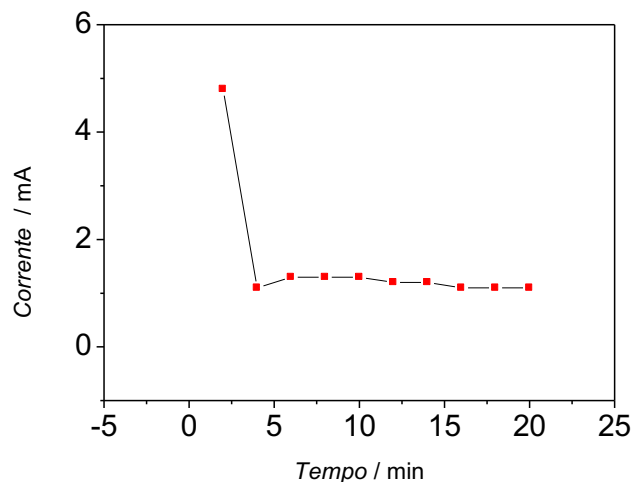


Figura 1: Curva cronoamperométrica para o processo de anodização feito num intervalo de tempo de 20 minutos para a liga Ti-6Al-7Nb aplicando-se um potencial de 20 V em solução contendo HF.

Pode-se observar na figura 1, uma diminuição brusca da corrente com o tempo, em aproximadamente 4 min. Este processo está associado com a formação de uma camada compacta sobre a liga durante o processo de anodização, porém depois de 4 min a corrente aumenta indicando que o HF pode estar dissolvendo o filme de óxido que se formou, e após 5 minutos a corrente se mantém constante com o tempo.

Um possível mecanismo proposto para a formação da camada de nanotubos de óxido será discutido a seguir [11,12]. Devido à curvatura e ao aumento do stress nas regiões de vales na superfície do filme de óxido formado naturalmente sobre a liga, o potencial químico nestas regiões pode ser mais elevado do que nas regiões de cristas, quando a superfície é perturbada sinusamente. Os íons podem ser preferencialmente adsorvidos nestes vales devido à diferença dos potenciais químicos, a fim de manter a eletroneutralidade, mais íons H⁺ podem migrar para estes sítios e provocar a dissolução de íons Ti⁴⁺. Desta forma, as regiões de vales se dissolvem preferencialmente e as cristas crescem às custas da dissolução destas regiões de vales propiciando a formação de uma camada de nanotubos de óxido. Depois disso, ocorre a separação dos nanotubos nesta camada.

Uma das formas de verificação se houve ou não a formação da camada de óxido de nanotubos foi a partir da observação visual da amostra. Na figura 2 são mostrados os aspectos visuais destas amostras. No lado esquerdo da figura tem-se a imagem da amostra metálica polida, na figura central a amostra polarizada em solução contendo HF e no lado direito, a amostra polarizada em solução contendo ácido fosfórico. Ambas as amostras foram polarizadas por 20 min aplicando-se o potencial de 20 V.

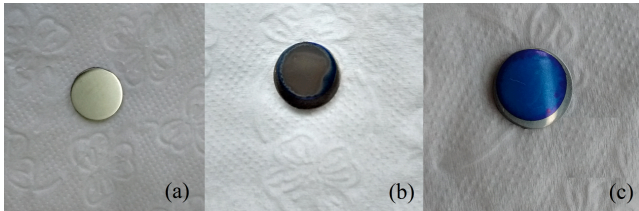


Figura 2: Aspecto visual das amostras (a) amostra polida antes do processo de anodização, (b) amostra depois do processo de anodização na presença do eletrólito HF durante o intervalo de tempo de 20 min. (c) amostra depois do processo de anodização na presença do eletrólito H_3PO_4 durante o intervalo de tempo de 20 min.

Os filmes de óxidos compactos geralmente apresentam variações de coloração em função do potencial aplicado devido ao espessamento da camada de óxido. Este é um efeito físico associado com as múltiplas reflexões da luz na superfície do filme de óxido e na interface filme/óxido provocando interferências construtivas e destrutivas entre a radiação luminosa incidida e refletida pela amostra.

A amostra polarizada em solução contendo HF apresentou uma superfície opaca, ou seja, esta superfície não reflete a luz e isto pode estar associado com uma superfície porosa que pode estar refletindo a luz em diferentes direções. Esta característica pode indicar a presença de uma camada de nanotubos de óxido da própria liga.

A confirmação da formação de uma camada de óxido nanoestrutura foi obtida a partir da Micrografia de MEV dos óxidos crescidos em 20 V em durante 50 min. Na figura 3 foi determinado o diâmetro médio dos nanotubos que foi em torno de 100 nm.

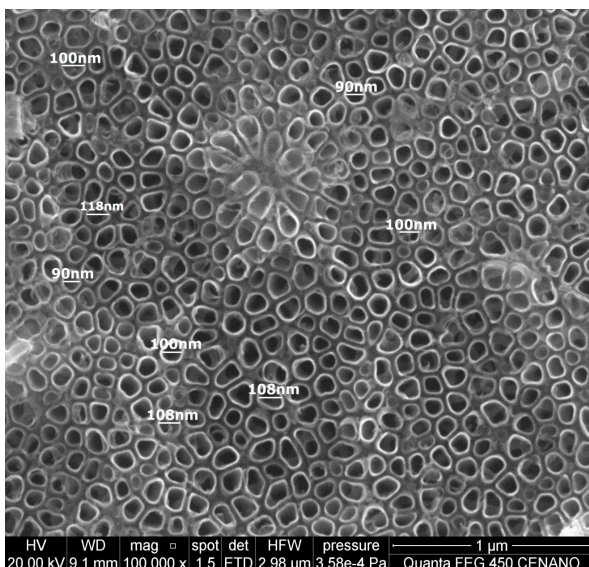


Figura 3: Micrografia de MEV dos óxidos crescidos em 20 V em durante 50 min no eletrólito com HF.

Na figura 4 é mostrada uma micrografia de MEV com ampliação de 25000 vezes do filme de óxido nanoestruturado crescido durante 20 min.

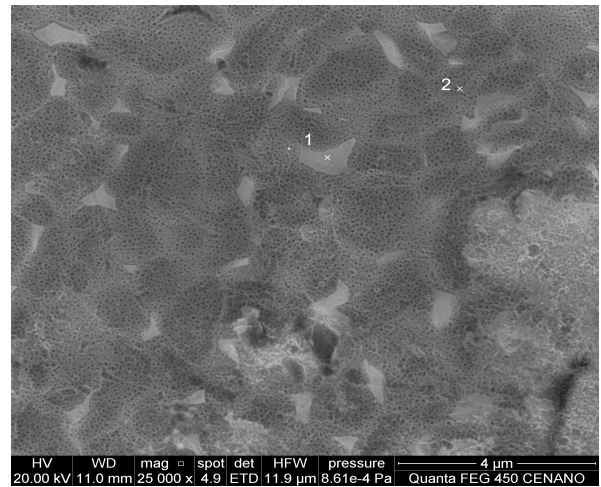


Figura 4: Micrografia de MEV dos óxidos crescidos em 20 V durante 20 min mostrando em que pontos da amostra foram realizadas caracterizações por EDS.

Observa-se a presença dos nanotubos sobre a maior parte da superfície mostrada. A partir desta imagem foi feita a análise semiquantitativa e pontual (Ponto 2 na micrografia) da composição deste óxido. Foi observado que entre os metais, o que está em maior quantidade é o Ti com teor de 55,6 %, seguido pelo Nb (com teor de 8,5 %) e pelo Al (com teor de 3,4 %) mostrando que a camada de nanotubos do óxido é formado praticamente por TiO_2 .

Foram detectados também flúor proveniente do eletrólito, carbono possivelmente proveniente do material de polimento e uma pequena contaminação com Fe que talvez possa estar presente na liga.

Na figura 5 são mostrados os perfis voltamétricos dos diferentes óxidos nanoestruturados formados sobre a liga por diferentes tempos (20 min e 50 min) quando exposta em solução que simula o meio fisiológico (solução de Ringer). A partir destes perfis voltamétricos podemos prever se o sistema liga Ti-6Al-7Nb/nanotubos de óxido são resistentes à corrosão por pites.

O método se baseia na varredura do potencial no sentido anódico até o potencial em que há um aumento brusco da densidade de corrente. Este aumento brusco da densidade de corrente pode ser provocado simultaneamente ou separadamente pela reação de desprendimento de oxigênio ou pela corrosão por pites. Quando se inverte o potencial para potenciais negativos, se houver a corrosão por pites, a densidade de corrente após a inversão do potencial será maior que a densidade de corrente antes da inversão do potencial. Por outro lado, se a densidade de corrente após a inversão do potencial for menor do que a densidade de corrente antes da inversão do potencial, no metal poderá estar ocorrendo à reação de desprendimento de oxigênio proveniente da oxidação da água.

CONCLUSÕES

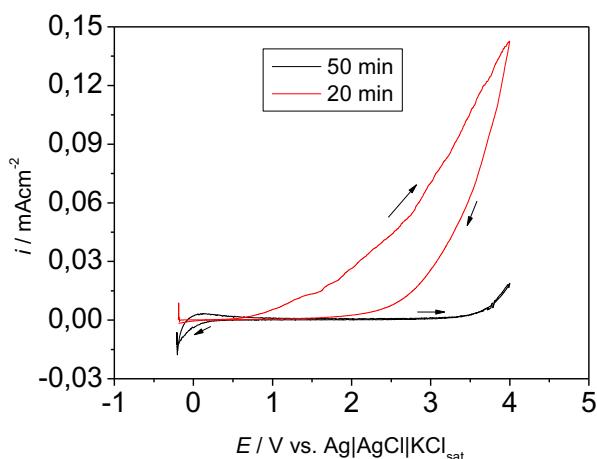


Figura 5: Perfis voltamétricos dos diferentes óxidos nanoestruturados formados sobre a liga por diferentes tempos (20 min e 50 min) quando exposta em solução que simula o meio fisiológico (solução de Ringer).

Em ambos os perfis voltamétricos observou-se que com a inversão do potencial a densidade de corrente foi menor do que a densidade de corrente antes da inversão do potencial indicando que o aumento da densidade de corrente ocorre devido à reação de desprendimento de oxigênio. O filme de óxido compacto da liga formado por 20 min em 20 V em solução contendo H_3PO_4 pode apresentar corrosão por pites quando exposto em solução de Ringer [13]. No entanto, para o filme contendo a camada de nanotubos de óxido (ou seja, o filme foi formado nas mesmas condições de polarização do filme compacto, porém com a presença de HF) apresenta resistência à corrosão por pites.

Pode se observar também que o filme formado durante 20 minutos apresentou, em potências superiores a 0,5 V, densidades de corrente maiores que as dos filmes nanoestruturados formados durante 50 minutos. Uma possível explicação para tal acontecimento pode estar relacionado com espessura do óxido. Em 20 minutos o filme de óxido nanoestruturado apresenta uma espessura menor do que o do filme de óxido formado a 50 minutos, portanto, quanto menor a espessura, maior será a taxa de condução e por isso a densidade de corrente será maior.

Finalmente, estes resultados demonstram, portanto, a eficiência do processo de tratamento superficial com a formação de nanoestruturas para a melhoria da resistência à corrosão da liga biocompatível Ti-6Al-7Nb em solução que simula o meio fisiológico.

Neste trabalho foi obtido o óxido nanoestruturado sobre a liga Ti-6Al-7Nb em solução contendo HF. A morfologia nanoestruturada foi confirmada por MEV onde o diâmetro médio dos nanotubos foi em torno de 100 nm.

Os testes eletroquímicos de corrosão em eletrólito que simula o meio fisiológico (solução de Ringer) mostraram que o filme crescido sobre a liga Ti-6Al-7Nb biocompatível em solução contendo HF apresentou resistência à corrosão por pites.

REFERÊNCIAS

- [1] R. L. Oréfice, M. M. Pereira, H. S. Mansur, "Biomateriais – Fundamentos & Aplicações," Cultura Médica, Rio de Janeiro, 1ª ed., 1998, pp. 51 -55.
- [2] A. L. Pires, A. C. K. Bierhalz, M. A. M. Moraes, "Biomateriais: Tipos, Aplicações e Mercado", vol. 38. n.7. Quim Nova, 2015, pp. 957-997.
- [3] V. Gentil, Corrosão. p. 345. Rio de Janeiro: LTC, 1996.
- [4] G. Ryan, A. Pandit, D. P. Apatzidis, Fabrication methods of porous metals for use in orthopaedic applications. Biomaterials, 2006, pp. 2651-2670.
- [5] D. A. Puleo, Implant Surfaces. The Dental Clinics of North America. 2006, pp. 323-338.
- [6] C. Cassinelli, M. Morra, G. Bruzzone, A. Carpi, G. D. Santi, R. Giardino, and M. Fini, Surface chemistry effects of topographic modification of titanium dental implants surfaces: 2. In vivo experiments. Int. J. Oral Maxillofac. Implants, 2003, pp.46-52.
- [7] M. Morra, C. Cassinelli, G. Bruzzone, A. Carpi, G. D. Santi, R. Giardino and M. Fini, Surface chemistry effects of topographic modification of titanium dental implants surfaces: 1. Surface analysis. Int. J. Oral Maxillofac. Implants, 2003, pp.40-50.
- [8] E. Gongadze, D. Kabaso, S. Bauer, T. Slivnik, U. V. Rienen, A. Iglic, Adhesion of osteoblasts to a nanorough titanium implant surface. International Journal of Nanomedicine, 2011, pp. 1801–1816.
- [9] T. Batista, M. Lievore, E. Décio, N. David, G. Maciel, M. Baltazar, Superfície dos implantes osseointegrados X resposta biológica. Revista Implant News, 2010, pp. 95 – 101.
- [10] E. A. Ferreira, F. C. Polachini, C. S. Fugivara, A. V. Benedetti, Construção de uma célula auto-clave para medidas eletroquímicas a altas temperaturas. Quim. Nova, 2011, pp. 1647-1650.
- [11] L. F. N. Guedes, M. D. T. Garcia, J. N. Cunha, L. T. Duarte, D. C. Bertagnolli, L. Silva, J. A. O. Huguenin, E. A. Ferreira, Ellipsometric and mechanical characterization of nanostructured anodic oxide film formed on Ti-6Al-7Nb alloy. Journal of Solid State Electrochemistry, 2016, pp. 2517–2523.
- [12] K. S. Raja, M. Misra, K. Paramguru, Formation of self-ordered nanotubular structure of anodic oxide layer on titanium. Electrochim Acta, 2005, pp.154-165.
- [13] J. Nogueira, Resistência à corrosão da liga Ti-6Al-7Nb depois de anodizada em diferentes eletrólitos ácidos. 72f. TCC – Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, 2016.

Consumo consciente de água em uma Instituição de Ensino Superior

Aline Guimarães Monteiro Trigo
*Divisão de Estratégia para
Sustentabilidade Ambiental
Institucional (DISAI)*
CEFET/RJ
Rio de Janeiro, Brasil
aline.trigo@cefet-rj.br

Brena Cyryaco Sattamini
*Divisão de Estratégia para
Sustentabilidade Ambiental
Institucional (DISAI)*
CEFET/RJ
Rio de Janeiro, Brasil
brenasat@hotmail.com

Ursula Gomes Rosa Maruyama
*Diretoria de Gestão Estratégica
(DIGES)*
CEFET/RJ
Rio de Janeiro, Brasil
ursula.maruyama@cefet-rj.br

Giuliana Bastos Macau
*Divisão de Estratégia para
Sustentabilidade Ambiental
Institucional (DISAI)*
CEFET/RJ
Rio de Janeiro, Brasil
macau.giuliana@gmail.com

Clara Lima Cavalcante de Figueiredo
*Divisão de Estratégia para
Sustentabilidade Ambiental
Institucional (DISAI)*
CEFET/RJ
Rio de Janeiro, Brasil
claralima270896@gmail.com

Daileny Chagas de Oliveira Mariano
*Divisão de Estratégia para
Sustentabilidade Ambiental
Institucional (DISAI)*
CEFET/RJ
Rio de Janeiro, Brasil
dailenymariano@gmail.com

Abstract — *It is not unknown to the population the importance of water, which is required for the survival of living beings and maintenance of environmental quality. However, many uses of water have been a concern for society. With this, many organizations, private and public, take care to avoid the scarcity of this resource that is poorly distributed on the planet and widely used on the planet. In this sense, the objective of this article is to demonstrate the importance of developing an environmental awareness within one of the Cefet/RJ campuses, based on a diagnosis of water consumption at the Maracanã campus, sanitary, through the application of a checklist and, finally, the identification and application of one of the water saving actions implemented in the institution.*

Keywords — *water, awareness, sustainability, consumption.*

I. INTRODUCTION

Muito se sabe sobre a importância da água em relação à manutenção da vida no nosso planeta. Ao longo dos anos, a espécie humana cresceu e se desenvolveu entorno deste bem natural. Na sociedade atual, a água também se tornou um insumo necessário para a execução de inúmeras atividades, porém passou a ser usado sem qualquer controle. Essa negligência trouxe à tona a discussão sobre o uso da água em escalas global, regional e local, e com isso, muitas organizações, privadas e públicas, passaram a se preocupar com a escassez deste recurso, tão mal distribuído e muito utilizado no planeta.

Enquanto em alguns lugares mais desenvolvidos, a presença de tecnologias colabora para que a água possa atender a vários usos (nobres ou não), como dos mais intensivos, que são observados na agricultura e indústria; enquanto que em outros lugares mais carentes, está longe o dia em que a maior parte da população terá água para atender suas necessidades básicas e obter uma qualidade de vida satisfatória.

Reconhecendo a sua importante função na formação de uma conduta responsável, que prepare seu aluno a ser um indivíduo que compreenda e possa intervir na realidade social, econômica e ambiental, de forma sustentável, o Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (Cefet/RJ), por meio da criação da Divisão de

Estratégia para Sustentabilidade Ambiental Institucional (DISAI), que está vinculada à Diretoria de Gestão Estratégica – DIGES/ Cefet/RJ e tem por objetivo transformar ideias em ações referentes à gestão e educação ambiental, desenvolvendo em cada indivíduo da comunidade a percepção socioambiental, que envolva aspectos científicos, legais, ecológicos, econômicos, políticos, culturais e éticos, busca incentivar iniciativas/ práticas de uso sustentável deste recurso tão essencial ao ser humano.

Neste sentido, o presente artigo tem por objetivo demonstrar a importância do desenvolvimento de uma consciência ambiental dentro de um dos campi do Cefet/RJ, a partir da realização de um diagnóstico sobre o consumo de água no campus Maracanã da referida instituição, por meio dos dados encontrados no Sistema Governamental Esplanada Sustentável; da verificação das instalações sanitárias, como banheiros, cozinhas, laboratórios e vestiários presentes na instituição, através da aplicação de um *checklist* que observará a possível existência de vazamentos e desperdícios e, por fim da identificação e aplicação de uma das ações de economia de água, implantada na instituição.

O artigo é fruto de um projeto desenvolvido, em meados de 2017, no campus Maracanã, conhecido como Consumo Consciente de Água. Para a condução e coordenação do projeto, a DISAI deve observar como a temática do projeto impacta a sustentabilidade física e financeira do Centro; e, portanto, neste projeto, elaborou-se a seguinte questão: como é verificado o consumo de água no Cefet/RJ? Por isso, o campus Maracanã servirá de piloto para o desenvolvimento e monitoramento desse projeto.

Atualmente, o principal desafio da DISAI é mostrar como a incorporação de atitudes, que tenham convergência com as práticas sustentáveis e de racionalização de gastos e processos, no dia a dia operacional dos campi universitários surtem efeito positivo, nos campos do ensino, pesquisa, extensão, ambiental, ético e financeiro do Cefet/RJ.

II. METODOLOGIA

Os passos para o desenvolvimento do projeto são delimitados por duas fases, sendo que cada uma destas compreendem etapas, como são descritas:

Fase I: Diagnóstico das Condições Ambientais do Espaço.

- Etapa 1 - Coleta de dados primários para a produção direta de informações, a partir dos dados de consumo de água obtidos no período de 2015 a 2017, através do Sistema Esplanada Sustentável, que é uma iniciativa governamental implementada a quatro anos no Cefet/RJ e demais órgãos de administração pública federal. Um servidor nomeado do Cefet/RJ recebe as contas de luz e energia de todos os campi do Cefet/RJ e insere os dados no Sistema.

O Sistema Esplanada Sustentável (SisPES) tem como objetivo incentivar órgãos e instituições públicas federais a adotarem modelo de gestão organizacional e de processos estruturados na implementação de ações voltadas ao uso racional de recursos naturais, promovendo a sustentabilidade ambiental e socioeconômica na Administração Pública Federal. O sistema monitora o consumo de energia elétrica e de água dos órgãos e entidades da Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional, em atendimento ao disposto na Portaria MP nº 23, de 12 de fevereiro de 2015. O SisPES é administrado pelo Departamento de Normas e Sistemas de Logística (Delog), da Secretaria de Gestão (SEGES), do Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão. [1]

- Etapa 2 - Coleta de dados primários para a produção direta de informações, a partir da aplicação do *checklist* para a observação e controle dos fatos dentro da organização. O *checklist* de desperdício de água, observado na Fig. 1, é um formulário desenvolvido por servidores públicos da instituição e especialistas na área ambiental e de engenharia civil, que permite identificar, de forma simples e objetiva, alguma espécie de desperdício ou vazamento de água em torneiras, vasos sanitários e chuveiros das instalações sanitárias distribuídas pelos Cefet/RJ.

VISTORIA PARA VERIFICAÇÃO DE VAZAMENTO DE ÁGUA

LOCALIZAÇÃO: _____

VASO SANITÁRIO:

Banheiro Masculino

a) Tipo de vaso sanitário: () caixa acoplada () válvula () caixa suspensa
 b) Verificar se existe movimento de água no fundo do vaso SIM () NÃO () NÃO AVALIADO () OBS.
 c) Equipamento: () em funcionamento () inoperante/ defeito

Banheiro Masculino

d) Tipo de vaso sanitário: () caixa acoplada () válvula () caixa suspensa
 e) Verificar se existe movimento de água no fundo do vaso SIM () NÃO () NÃO AVALIADO () OBS.
 f) Equipamento: () em funcionamento () inoperante/ defeito

Banheiro Masculino

g) Tipo de vaso sanitário: () caixa acoplada () válvula () caixa suspensa
 h) Verificar se existe movimento de água no fundo do vaso SIM () NÃO () NÃO AVALIADO () OBS.
 i) Equipamento: () em funcionamento () inoperante/ defeito

Banheiro Masculino

j) Tipo de vaso sanitário: () caixa acoplada () válvula () caixa suspensa
 k) Verificar se existe movimento de água no fundo do vaso SIM () NÃO () NÃO AVALIADO () OBS.
 l) Equipamento: () em funcionamento () inoperante/ defeito

OBS. _____

TORNEIRA: Observar goteira, arejador na saída e tempo de fechamento (4-10 seg) das bicas

Banheiro Masculino () pressão () alavanca

a) pressão: () muito alta (respingando fora/molhando o usuário) () muito baixa (pouca água escorrendo)
 b) goteira SIM () NÃO () NÃO AVALIADO () OBS.
 c) arejador SIM () NÃO () NÃO AVALIADO () OBS.
 d) tempo de fechamento segundos OBS.

Banheiro Masculino () pressão () alavanca

a) pressão: () muito alta (respingando fora/molhando o usuário) () muito baixa (pouca água escorrendo)
 b) goteira SIM () NÃO () NÃO AVALIADO () OBS.
 c) arejador SIM () NÃO () NÃO AVALIADO () OBS.
 d) tempo de fechamento segundos OBS.

Fig. 1. Checklist de desperdício de água
 Fonte: Elaboração própria

Durante a aplicação do *checklist*, que se verificou entre os períodos de outubro de 2017 e fevereiro de 2018, deparou-se com mais de um vaso sanitário ou mictório ou pia dentro dos espaços analisados. Nestas

situações, empregou-se um critério alfanumérico para identificar as louças, que estavam em número maior do que um. (Fig. 2)

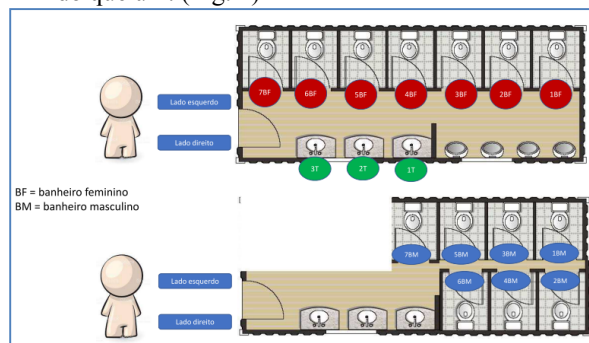


Fig. 2. Critérios de identificação das louças sanitárias
 Fonte: Elaboração própria

Fase II: Análise e Divulgação das Informações para Reconhecimento.

- Etapa 1 – Análise dos dados primários coletados: consumo de água no período de 2015 a 2017, proveniente do Sistema Esplanada Sustentável, e da aplicação do *checklist* nas instalações sanitárias do Cefet/RJ.
- Etapa 2 – Identificação de ações que possam reduzir e/ou economizar o consumo de água, bem como sensibilizar a comunidade. Futuramente, essas ações colaborarão para a estruturação do Plano de Gestão de Logística Sustentável, contendo objetivos e metas, detalhamento de ações, responsabilidades, e cronograma de implantação para a gestão do consumo de água.
- Etapa 3 – Envio e divulgação das informações analisadas para a Direção Geral, prefeitura do campus, diretorias sistêmicas e respectivas divisões.

III. RESULTADOS

Analisando comparativamente os dados de consumo de água no campus Maracanã durante o período de 2015 a 2017, que coincide com a implantação do Sistema Esplanada Sustentável nos campi do Cefet/RJ (Fig.3), observou-se que os consumos mensais de água de 2017 foram menores daqueles observados em 2015 e 2016; além disso, o segundo semestre apresentou uma queda significativa em seu consumo. Cabe lembrar que o consumo de água verificado em determinado mês refere-se ao consumo real do período anterior, de acordo com o que é apresentado nas contas de água.

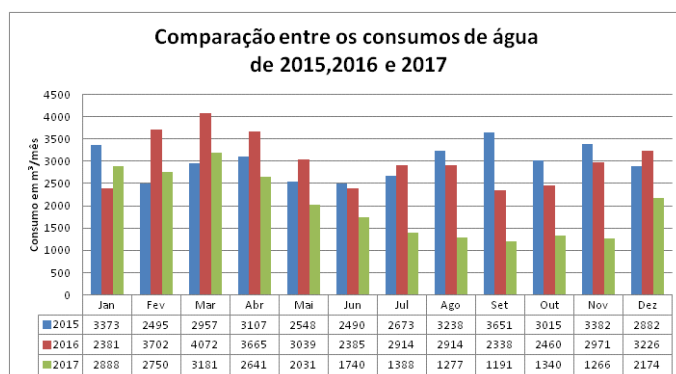


Fig. 3. Consumo de água no campus Maracanã – 2015 a 2017 [1]

De abril a novembro de 2017, o consumo reduziu mais de 50% em comparação a 2015 e 2016. Houve uma consulta à prefeitura do campus para entender a situação. Não se verificou vazamentos em tubulações instaladas nas áreas interna e externa, e por isso, acredita-se que melhorias realizadas nas dependências sanitárias, como a instalação de equipamentos sanitários que reduzem a vazão de água em torneiras e a troca de válvulas por caixas acopladas aos vasos sanitários ao longo do ano de 2016, possam explicar a redução de consumo em 2017.

Alguns eventos durante o período analisado são importantes de serem lembrados, como uma forma de demonstrar a importância da gestão desse recurso dentro da organização, considerando as dificuldades que o Cefet/RJ enfrentou.

As chuvas fortes que se verificaram no início do ano de 2016 no Rio de Janeiro, especialmente, o período de janeiro a março, trouxeram grandes transtornos para alguns bairros da região metropolitana do Rio de Janeiro. O Cefet/RJ, que se localiza no bairro do Maracanã na região do maciço da Tijuca, às margens do rio Maracanã, teve suas dependências atingidas quando o rio transbordou. No período de 12 a 16 de Março, o Cefet/RJ teve interrompida suas atividades. As dependências da escola ficaram comprometidas, e por conta disto, houve um consumo de água maior do que esperado para a realização da limpeza e higienização de cisternas e de toda a instituição. [2] Apesar das obras do Governo do Estado do Rio de Janeiro para evitar as enchentes nos bairros da região da Grande Tijuca, conhecidas como piscinões – reservatórios de águas pluviais que conduzem as águas para o deságue na Baía de Guanabara, ainda não são suficientes para reduzir os alagamentos vivenciados por aqueles que vivem, estudam ou trabalham na área.

Os dados que serão apresentados adiante foram obtidos a partir da aplicação do *checklist* de desperdício de água. Em todo campus Maracanã, foi investigado o funcionamento dos banheiros, laboratórios, vestiários, cozinhas e salas de coordenação, que apresentam louças sanitárias, como pias, vasos sanitários e metais sanitários, como torneiras e chuveiros. No total, 172 vasos sanitários, 281 torneiras (de banheiro, de área externa, de cozinha, de laboratórios e de lavagem de piso) e 14 chuveiros em funcionamento foram pesquisados.

Na análise realizada nos banheiros, tanto femininos quanto masculinos, observou-se que cerca de 119 vasos sanitários (63 femininos e 56 masculinos) ainda usam válvulas de descarga. (Fig. 4)



Fig. 4. Tipo de vaso sanitário nos banheiros femininos e masculinos
Fonte: Elaboração própria

Atualmente, a válvula é pouco recomendada, pois o principal problema é a manutenção, que mesmo comum, tem o fato de estar integrada na parede o que poderia gerar maiores problemas em caso de troca, por exemplo. A válvula libera mais água para a descarga, o que aumenta o seu consumo; no entanto, não haverá problemas de resíduos parados no vaso por falta de força da água para tirá-los. Além disso, a válvula é mais propensa a problemas de funcionamento do que a caixa acoplada. Foram verificados movimentos de água, sem ter dado descarga, o que significa sinal de vazamento nos vasos sanitários. Constatou, então, que 4,6% do total dos vasos analisados estavam com vazamento durante o período de averiguação.

Na análise realizada nas torneiras que se encontram nos banheiros (femininos e masculinos), nos laboratórios, cozinhas e em áreas externas, verificou-se que mais da metade já é de fechamento automático (ou pressão). As torneiras de pressão trazem vantagens, assegurando a praticidade no dia a dia da instituição de ensino. Desta forma, apresenta um diferencial que é a economia de água propiciada – o que permite a redução do consumo de recursos naturais, e consequentemente, a diminuição do valor de sua conta de água. (Fig.5)

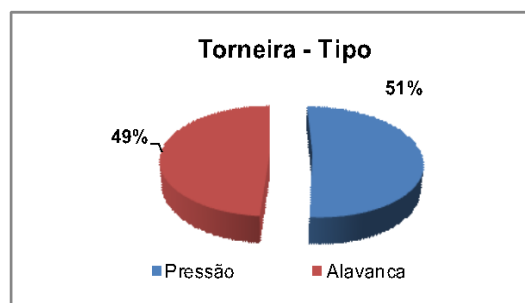


Fig. 5. Tipo de torneiras encontradas
Fonte: Elaboração própria

Portanto, ainda existem 137 torneiras de alavanca, sendo que 82 são verificadas nos laboratórios e cozinhas espalhadas pelo Cefet/RJ, 19 nos banheiros femininos, 23 nos banheiros masculinos, 6 nas torneiras de piso e 7 em áreas externas.

As torneiras de pressão ou fechamento automático possuem um tempo médio de fechamento programado entre 4 a 10 segundos e o valor máximo permitido pela NBR 13.713/1996 é de 15 segundos [3]. A norma ainda coloca que cada acionamento libera 0,05 litros por segundo. Comparando os tempos de fechamentos das torneiras presentes nos banheiros, observou-se que 8 torneiras dos banheiros femininos estiveram, quando acionadas, por mais

de 11 segundos abertas, enquanto que nos banheiros masculinos foram apenas 4 torneiras.

Quanto ao jato de água que sai das torneiras, utilizou-se a classificação de “pressão” para avaliá-los: alta (jato de água forte), normal (jato de água normal) e baixa (jato de água fraco). As consideradas de pressão alta, são aquelas que quando abertas, espirram para todos os lados, o que perfaz um total de 49 torneiras (Fig.6)

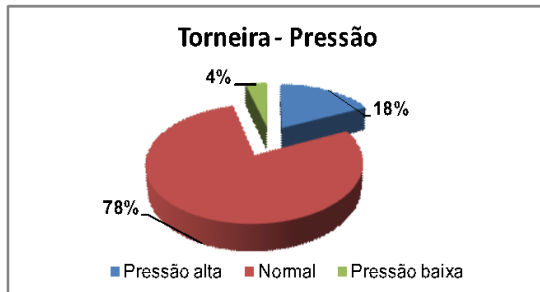


Fig. 6. Torneiras com pressão alta, normal ou baixa.
Fonte: Elaboração própria

A instalação do arejador na “ponta” da torneira colabora para manter o conforto na hora do uso e também tem a função de misturar ar à água, diminuindo o fluxo, mas mantendo a sensação de volume e direcionando o jato para evitar o “espirrar” da torneira. Constatou-se 143 torneiras com arejadores, sendo 28 em laboratórios/ cozinhas, 70 em banheiros femininos, 44 em banheiros masculinos e 1 torneira de piso no banheiro feminino. (Fig.7)

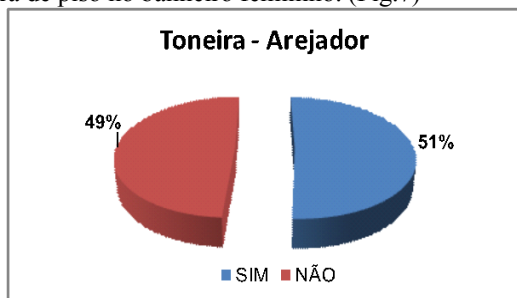


Fig. 7. Torneiras com ou sem arejadores
Fonte: Elaboração própria

Outra peça de fácil instalação, que contribui para reduzir, até à metade, a quantidade de água que sai das torneiras é o “reduzidor de vazão”. De baixo custo e encontrado em diferentes modelos, o reduzidor é um pequeno anel que controla a quantidade de água na saída das torneiras.

Cerca de 7% das torneiras no Cefet/RJ apresentam gotejamento, sem estar abertas, nos seguintes locais:

- 8 torneiras dos banheiros femininos nos: Espaço Oswaldão (1), Pavilhão 1 (1), Bloco E (2^o andar (bicas 2 e 3) e 1^o andar (bica 2)), Banheiro da área da guarita do Campus 3 (1), Banheiro do 1^o andar do Campus 3 (1), Banheiro dos servidores do 2^o andar do bloco B (1).
- 4 torneiras dos banheiros masculinos nos: Bloco E (1^o andar), Pavilhão 5 (1), Pavilhão 1 (1), Banheiro do servidor masculino (bica 2), usado pelos servidores do DERAC.

- 1 torneira na área externa próximo ao busto de Celso Suckow da Fonseca.
- 6 torneiras nos laboratórios/ cozinhas na(o): área de manutenção/ hidráulica (1), entrada da área de descanso dos empregados da limpeza (1), laboratório de Artes (bica 2), cozinha da Atlética (1), Laboratório de Física Experimental e Aplicada (LAFEA) no bloco D – térreo (1), Laboratório de Comportamento Termomecânico de Materiais (LACTM) no bloco D – térreo (1).

IV. RECOMENDAÇÕES

Na identificação das possíveis ações que possam reduzir o consumo de água e diminuir a conta de água para a organização, destacam-se as sete categorias desenvolvidas que podem orientar os futuros usos que o consumidor pode tomar, tornando-o mais consciente [4].

- 1) Capacitação e Sensibilização
 - a. Treinar o pessoal da Limpeza para a economia de água. Capacitação de gestores e responsáveis pela fiscalização e correção de problemas com o desperdício,
 - b. Sinalizar áreas comuns dos campi do Cefet com informativos sobre como reduzir o consumo de água,
 - c. Inserir próximos aos equipamentos hidráulicos fotos marcantes e impactantes do problema da FALTA de água no Brasil,
 - d. Fazer campanha de conscientização permanente, utilizando cartilhas sobre a importância da redução do consumo de água,
 - e. Programas na TV Cefet institucional que visem a sensibilização e economia de água com informações, dicas e entrevistas,
 - f. Orientar/capacitar à equipe de projetistas do Cefet nos requisitos que atendem a sustentabilidade ambiental para a preparação de projetos de economia de água.
- 2) Irrigação
 - a. Irrigar os jardins nos horários menos quentes do dia para evitar a perda de água por evaporação. Orientar os funcionários, criando rotinas acerca da periodicidade de irrigação de jardins.
- 3) Gestão
 - a. Definição, cálculo e divulgação de indicadores de consumo,
 - b. Instituir programa de educação ambiental visando a redução do desperdício e fomentando projetos com esse objetivo dentro de cada Instituição,
 - c. Criar etiquetas (parecido com o selo de conservação de energia) com faixas de economia de água para equipamentos como torneiras, chuveiros e vasos sanitários,
 - d. Criar ou manter uma equipe de manutenção que atenda rapidamente aos chamados para consertos e realize manutenção preventiva.
- 4) Boas práticas
 - a. Antes de lavar a louça dos Restaurantes Universitários retirar o excesso de comida, sem usar água, e deixar sempre a torneira fechada ao

- ensaboar;
- b. Colocar dentro das caixas de descarga um tijolo especial ou garrafas PET preenchidas com água ou areia;
 - c. Trocar a carrapeta, o reparo ou os registros defeituosos das torneiras que estão pingando;
 - d. Regular as boias das caixas de descarga para que encham menos;
 - e. Fazer testes nos relógios de água para verificar se não há vazamentos;
 - f. Utilização de capas para cobertura das piscinas (tem que estar cloradas) dos campi.
- 5) Manutenção preventiva
 - a. Instalar um restritor de vazão de água nas torneiras das instituições,
 - b. Regulagem de torneiras e de outros dispositivos hidráulicos dos banheiros,
 - c. Instalar arejador nas torneiras,
 - d. Regulagem periódica das torneiras com temporizadores,
 - e. Fiscalizar se os filtros dos bebedouros estão defeituosos,
 - f. Pesquisa de Vazamento e Criação de programas de manutenção periódica de banheiros.
 - 6) Infraestrutura
 - a. Coleta de águas pluviais para utilização em descarga e limpeza dos prédios,
 - b. Instalar bacias sanitárias com duplo fluxo proporcionando economia de água.
 - 7) Tecnologia da informação
 - a. Criação de um mecanismo fácil, on-line, telefônico ou um aplicativo para celular, para registrar fotos e vídeos, para comunicação direta sobre vazamentos,
 - b. Desenvolver um aplicativo para monitorar o consumo de água a partir das informações do hidrômetro.

A busca por ações que conduzem a economia de água não retrata apenas uma ou outra iniciativa a ser desenvolvida na organização, mas sim uma necessidade e um ato de civilidade de uma comunidade.

O resultado de economia de água observada com a aplicação do *checklist* e com a análise dos gráficos de consumo de água, principalmente fazendo um comparativo de 2017 em relação aos dois anos anteriores (2015 e 2016), demonstra que a Prefeitura do Cefet/RJ campus Maracanã vem investindo nas categorias: Boas práticas e de Manutenção preventiva de suas instalações sanitárias. Essas ações também foram apresentadas a comunidade do Cefet/RJ, a fim de sensibilizá-la (Categoria Capacitação e sensibilização), durante o evento 2ª Roda de Conversa de Sustentabilidade Ambiental Institucional, cujo tema foi “Água: Consumo Consciente no Cefet/RJ” em novembro de 2017. (Fig. 8)

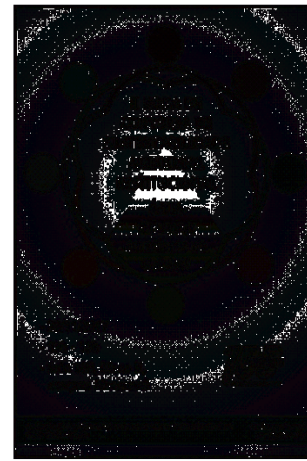


Fig. 8. Cartaz da 2ª Roda de Conversa de Sustentabilidade Ambiental Institucional [5]

Outra ação desenvolvida intitula-se Comunicação Direta sobre Vazamento de Água [6], que se enquadra na Categoria Tecnologia da informação. Uma espécie de formulário, que é acessado por meio de QRCode ou de um endereço disponível na rede internet (Fig. 9), e pode ser preenchido, quando o indivíduo se deparar com algum vazamento nas louças sanitárias dos banheiros (torneira, vaso sanitário, mictório, chuveiro e torneira de lavagem de piso). São cinco perguntas, com respostas fechadas, que visam identificar a louça sanitária do banheiro que possui o vazamento:

- 1- Em que bloco você está?
- 2- Em qual andar você está? (no caso do banheiro estar em um bloco que tem mais de um andar)
- 3- Tipo de banheiro: feminino ou masculino
- 4- Identifique a louça sanitária que está com problema.



Fig. 9. Cartaz de Comunicação Direta sobre Vazamento de Água [6]

Mais do que uma iniciativa da Divisão de Sustentabilidade do Cefet/RJ, representa um ato de compromisso ambiental de cada um de nós.

V. CONCLUSÕES

Torna-se necessário conciliar o crescimento, a ampliação e a gestão das atividades do Cefet/RJ com o uso sustentável dos recursos naturais, de forma a reduzir desperdícios e impactos ambientais negativos possivelmente gerados. As Instituições de Ensino Superior (IES) têm um papel relevante no despertar da consciência ambiental e formação de um pensamento crítico dos futuros profissionais, a fim de propiciar um ambiente adequado ao desenvolvimento de uma realidade sustentável e de que os alunos se constituam sujeitos coletivos e voltados à participação efetiva nos processos sociais. Os levantamentos realizados a partir do

diagnóstico sobre o consumo de água no período de 2015 a 2017 e do *checklist* de identificação de desperdícios ou vazamentos de água nas louças sanitárias dentro dos banheiros, laboratórios, cozinhas e vestiários demonstram que a Prefeitura do campus vem investindo na manutenção preventiva e nas boas práticas dentro das instalações sanitárias da organização, considerando também os baixos percentuais de desperdícios observados em relatos e figuras. Complementando a pesquisa, registrou-se a existência e aplicação de algumas das ações que orientam os futuros usos que o consumidor pode tomar, tornando-o mais consciente ambientalmente e, permitindo a uma condução mais racional dos gastos.

REFERÊNCIAS

- [1] MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Sistema Esplanada Sustentável**. 2018. Disponível em: <https://www.comprasgovernamentais.gov.br/index.php/sispes> Acesso em 04 Abril 2018
- [2] ABNT NBR 13713/96 – **Aparelhos hidráulicos acionados manualmente e com ciclo de fechamento automático**. Rio de Janeiro. ABNT, 1996.
- [3] EXTRA.GLOBO.COM **Vídeo mostra chuva invadindo o campus do Cefet no Maracanã**. 2016 Disponível em: <https://extra.globo.com/noticias/rio/video-mostra-chuva-invadindo-campus-do-cefet-no-maracana-18865149.html> Acesso em 5 Abril 2018.
- [4] MEC – MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA. **Desafio da Água**. Desafio da Sustentabilidade. Brasília: MEC, 2015. Disponível em: <premioideiportal.mec.gov.br> Acesso em 22 Novembro 2017..
- [5] DPROV – DEPARTAMENTO DE PROGRAMAÇÃO VISUAL DO CEFET-RJ. **Criação do Cartaz da 2ª Roda de Conversa de Sustentabilidade Ambiental Institucional**. CEFET/RJ. Outubro, 2017
- [6] DISAI – DIVISÃO DE ESTRATÉGIA PARA SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL INSTITUCIONAL. **Comunicação Direta sobre Vazamento de Água**. CEFET/RJ. Agosto, 2018.

Efeito das variáveis do superaquecimento na formação macro e microestrutural da liga Al-4%Cu

Wemberson Bitencourt Chrisóstimo
PPGEM-UFF
Universidade Federal Fluminense
Volta Redonda, Brasil
wembersonbc@gmail.com

Thiago Alves de Souza
PPGEM-UFF
Universidade Federal Fluminense
Volta Redonda, Brasil
eng.metalthiago@hotmail.com

Alexandre Furtado Ferreira
PPGEM-UFF
Universidade Federal Fluminense
Volta Redonda, Brasil
alexandrefurtado@id.uff.br

Thamara Cristina Santos de O. da Silva
PPGEM-UFF
Universidade Federal Fluminense
Volta Redonda, Brasil
Tha_cris@yahoo.com

Wysllan Jefferson Lima Garção
PPGEM-UFF
Universidade Federal Fluminense
Volta Redonda, Brasil
wysllan.lima@ifrrj.edu.br

Janayna Jasmin Passos
PPGEM-UFF
Universidade Federal Fluminense
Volta Redonda, Brasil
janajp_2005@hotmail.com

Resumo — Este trabalho estuda o efeito do parâmetro de processo temperatura de superaquecimento sobre as características macro e microestruturais da liga Al-4%Cu obtida através de um processo de solidificação unidirecional vertical ascendente com extração de calor em regime transiente. A metodologia consiste em variar o superaquecimento nos níveis de 25, 15 e 5% acima da temperatura liquidus e manter constante os parâmetros de refrigeração e composição química, realizando monitoramento da solidificação através das curvas de resfriamento com determinação experimental dos parâmetros térmicos: velocidade de deslocamento da isoterma liquidus, taxa de resfriamento e gradiente térmico. Realiza-se a avaliação qualitativa e quantitativa das macroestruturas e de microestruturas quanto aos espaçamentos dendríticos primários determinados através de microscopia óptica. O objetivo deste trabalho é identificar experimentalmente o grau de correlação entre variáveis e obter uma equação que possa prever as características estruturais da liga Al-4%Cu a partir de parâmetros térmicos. Os resultados demonstram que a temperatura de vazamento influencia na velocidade de deslocamento da isoterma liquidus, na taxa de resfriamento e no gradiente térmico. Assim sendo, equações são determinadas para prever as características estruturais a partir de superaquecimento e parâmetros térmicos obtidos no processo de solidificação.

Palavras-chave — *solidificação unidirecional vertical ascendente, parâmetros térmicos, espaçamento dendrítico.*

I. INTRODUÇÃO

O conhecimento sobre fusão e solidificação é importante ao desenvolvimento de processos de fabricação para obtenção de estruturas e propriedades adequadas para melhor desempenho nas diferentes aplicações dos metais e suas ligas. Este trabalho avalia o efeito do superaquecimento na formação macro e microestrutural através de parâmetros térmicos de solidificação de uma liga Al-4%Cu, que é obtida de um processo de solidificação unidirecional ascendente com extração de calor em regime transiente. Estudos têm mostrado que os parâmetros térmicos significativos para controle da solidificação são: velocidade de deslocamento da isoterma liquidus (V_L), taxa de resfriamento (\dot{T}) e gradiente térmico à frente da interface sólido/líquido (G_L) [1] [2] [3]. A metodologia consiste em variar o superaquecimento nos níveis de 25, 15 e 5% acima da temperatura liquidus e manter constante os parâmetros de refrigeração e composição química, realizando monitoramento da solidificação através das curvas de resfriamento com

determinação experimental dos parâmetros térmicos. A macro e a microestrutura desta liga é avaliada com os três diferentes níveis de superaquecimento.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

As principais etapas experimentais para desenvolvimento deste trabalho são apresentadas no fluxograma da Figura 1.

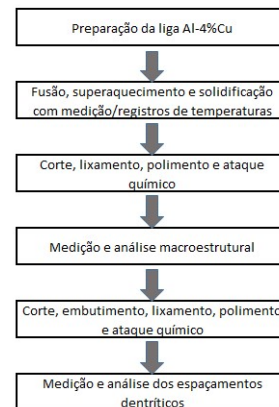


Figura 1: fluxograma das principais etapas experimentais.

A. Preparação da liga

A liga Al-4%Cu é preparada com a utilização do alumínio comercialmente puro em forma de lingote e o cobre também comercialmente puro em forma de arame picotado.

B. Experimento de fusão e solidificação

O lingote de alumínio foi cortado na máquina de serra de fita como demonstrado na Figura 2a. Tanto o Alumínio quanto o cobre foram devidamente pesados na balança digital, conforme mostrada na Figura 2b, visando a obtenção da liga Al-4%Cu.



Figura 2: a) serra de fita. b) balança digital.

Após a pesagem dos materiais, alumínio e cobre, estes foram colocados dentro do cadinho de grafite (Figura 3a) para fusão da liga no forno tipo mufla (Figura b). Durante a fusão da liga, o material foi frequentemente agitado com vara de vergalhão revestida com massa refratária de alumina para permitir uma homogeneização da liga.

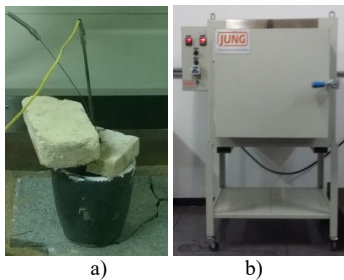


Figura 3: a) cadinho de grafite. b) forno tipo mufla, modelo FE7013.

Com a liga fundida e homogeneizada, esta foi retirada do forno e colocada em moldes para medição das temperaturas liquidus e solidus dessa liga durante a sua solidificação, como já mostrado na Figura 3a. Na sequência, a liga foi refundida e três experimentos de solidificação unidirecional vertical ascendente foram realizados com temperaturas de vazamento a 809, 744 e 679 °C, associadas respectivamente às três condições de superaquecimento de 25%, 15% e 5% em relação a temperatura liquidus obtida experimentalmente. Em cada condição, a liga foi vazada num molde metálico (Figura 4a) pré-aquecido pelo forno de solidificação unidirecional vertical (Figura 4b) para realização desses experimentos.

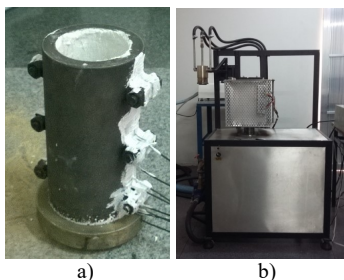


Figura 4: a) molde metálico com massa refratária de alumina e termopares posicionados. b) forno de solidificação unidirecional vertical FSD1200V.

Na Figura 5 é apresentada a representação esquemática do forno de solidificação unidirecional vertical ascendente.

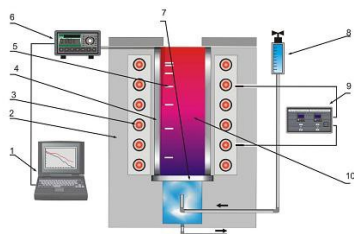


Figura 5 - Representação esquemática do dispositivo experimental unidirecional ascendente utilizado para a solidificação: (1) Computador e software de aquisição de dados; (2) Camada cerâmica isolante; (3) Resistências elétricas; (4) Lingoteira; (5) Termopares; (6) Registrador de dados; (7) Base extratora de calor; (8) Rotâmetro; (9) Controlador de potência; (10) Metal líquido, [4].

C. Medição dos parâmetros térmicos

Os parâmetros térmicos do processo foram determinados após a obtenção dos perfis de temperaturas.

Os resultados dos pares ordenados, posição e tempo (P,t), obtidos a partir do procedimento experimental permitem, que sejam traçados gráficos experimentais da posição da isoterma liquidus com o tempo. As funções $P = f(t)$ são obtidas a partir da intersecção da reta de cada temperatura liquidus (TL) com as curvas de resfriamento de cada posição dos termopares (P), ou seja, a partir da TL da liga analisada traça-se uma reta paralela ao eixo dos tempos, conforme apresentado na Figura 6. Através das intersecções dessa reta com as respectivas curvas de resfriamento, em cada uma das oito posições, obtêm-se os tempos correspondentes. Esses tempos definem-se como sendo os tempos de passagem da isoterma liquidus em cada posição monitorada pelo termopar.

As velocidades experimentais de deslocamento da isoterma liquidus (V_L) foram determinadas pela derivada da função $P = f(t)$, isto é, $V_L = dP/dt$ [5].

As taxas de resfriamento (\dot{T}), para cada posição dos termopares, foram obtidas experimentalmente a partir da intersecção da reta de cada temperatura liquidus (TL) com as curvas de resfriamento para cada posição dos termopares através do resultado da leitura direta do quociente das temperaturas, imediatamente antes e depois da TL e dos tempos correspondentes, isto é, $\dot{T} = \Delta T/\Delta t$ [5].

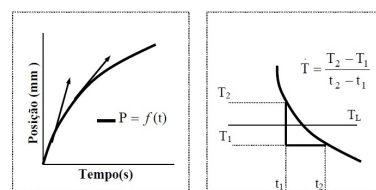
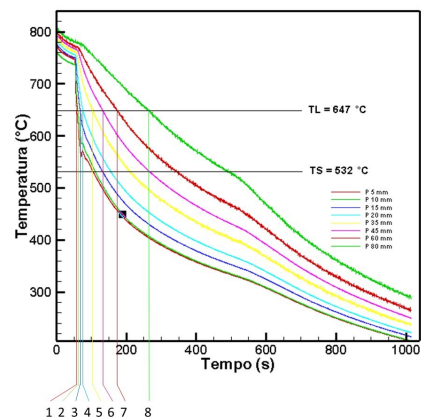


Figura 6: Esquemas representativos para determinação dos parâmetros térmicos V_L e \dot{T} .

Os gradientes térmicos à frente da isoterma liquidus foram obtidos a partir dos valores experimentais da velocidade e da taxa de resfriamento, pela relação $\dot{T} = G_L \cdot V_L$ [5].

D. Análise macrográfica e micrográfica

A cada experimento, o lingote obtido foi cortado longitudinalmente na região central para realização da análise macrográfica a partir da interface metal/molde. Os

corpos de prova foram lixados com lixas de granulação de 80 a 1200 mesh, aplicados polimento com pasta de diamante de 6 μm e posterior ataque químico com solução 0,5% HF, 1,5% HCl, 2,5% HNO₃ e 100 cm³ água destilada, conhecido como reativo químico de Keller [6].

Para análise micrográfica, cada lingote foi cortado longitudinal e transversalmente para obtenção de corpos de prova devidamente identificados nas regiões centrais do lingote e nas posições dos termopares empregados durante o monitoramento realizado na solidificação da liga. Para cada condição de superaquecimento, foram obtidos oito corpos de prova de acordo com as posições dos termopares a partir da interface metal/molde, ou seja, 5, 10, 15, 20, 35, 45, 60 e 80 mm. Os corpos de prova foram embutidos em resina acrílica, sendo que as superfícies transversais ao fluxo de calor foram lixadas com lixas de granulação de 80 a 1200 mesh, polidas com pasta de diamante de 6 μm e posterior ataque químico com solução 0,5% HF [6].

E. Medição de espaçamento dendrítico

As medidas dos espaçamentos dendríticos primários (EDP ou λ_1) foram realizadas utilizando-se o software ImageJ. Os valores de λ_1 foram medidos sobre a secção transversal (perpendicular ao fluxo de calor) do corpo de prova. O método utilizado para quantificar os valores destes espaçamentos foi o método do triângulo, esquematizado na Figura 6, utilizando-se o critério de vizinhança, que considera o valor do espaçamento primário igual à distância média entre o centro geométrico das dendritas [7]. Foram executadas 20 medidas para cada posição selecionada, sendo que, ao final, obteve-se a média dos valores e o intervalo de confiança, conforme distribuição de t de Student.

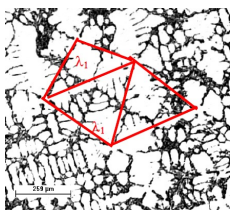


Figura 6: Representação esquemática para medição de espaçamento dendrítico primário utilizando-se o método do triângulo [3].

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 7 apresenta a curva de resfriamento lento da liga Al-4%Cu obtida experimentalmente.

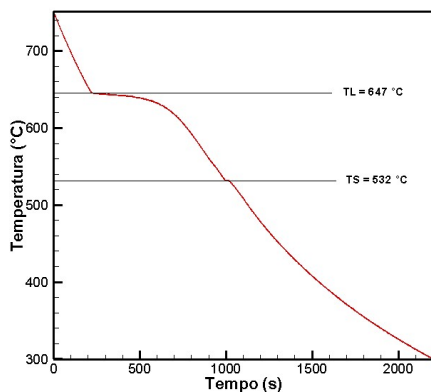


Figura 7: Curva de resfriamento lento da Liga Al-4%Cu.

Experimentalmente, foram determinadas as temperaturas liquidus de 647°C e solidus de 532°C da liga Al-4%Cu.

As Figuras 8, 9 e 10 apresentam as curvas de resfriamento dos experimentos nas condições de superaquecimento em 25%, 15% e 5%, respectivamente. Essas curvas foram obtidas através do registro da variação da temperatura em função do tempo, conforme detalhados na seção materiais e métodos. As curvas correspondem aos termopares posicionados no molde em oito posições específicas na cavidade de vazamento a partir da interface metal/molde, sendo as posições: 5, 10, 15, 20, 35, 45, 60 e 85 mm.

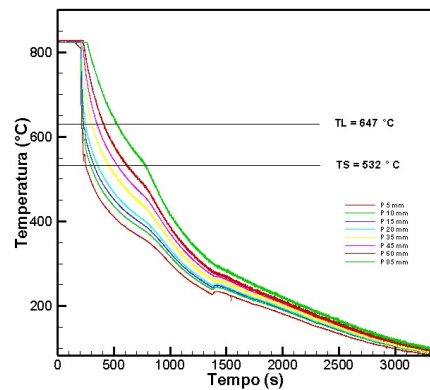


Figura 8: Curva de resfriamento rápido com 25% de superaquecimento da Liga Al-4%Cu.

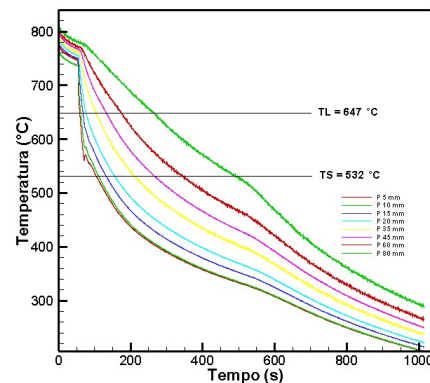


Figura 9: Curva de resfriamento rápido com 15% de superaquecimento da Liga Al-4%Cu.

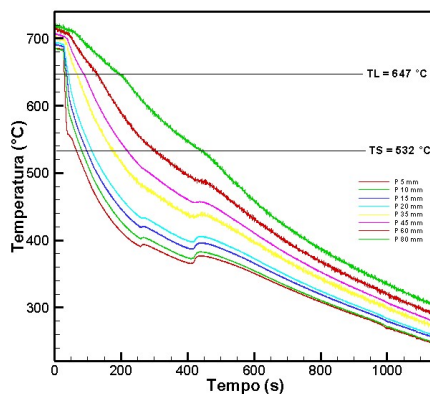


Figura 10: Curva de resfriamento rápido com 5% de superaquecimento da Liga Al-4%Cu.

A partir das curvas de resfriamento obtidas experimentalmente, foi possível determinar os principais parâmetros térmicos envolvidos no processo de solidificação da liga Al-4%Cu nas três condições de superaquecimento. Nas Figuras 11, 12 e 13 são apresentados os parâmetros térmicos de velocidade de deslocamento da isoterma liquidus, taxa de resfriamento e gradiente térmico, respectivamente.

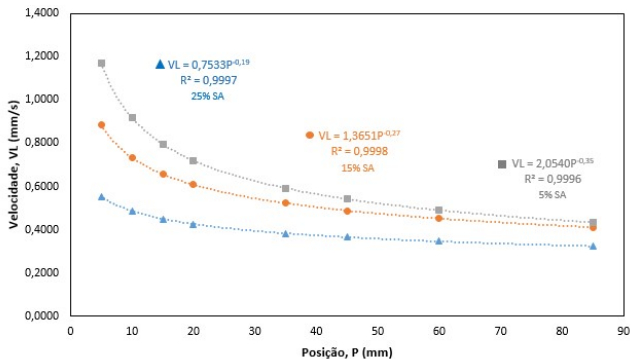


Figura 11: Velocidade de deslocamento da isoterma liquidus com 25%, 15% e 5% de superaquecimento da Liga Al-4%Cu.

As expressões que caracterizam a variação experimental da velocidade de deslocamento da isoterma liquidus em função da posição para as condições de superaquecimento de 25, 15 e 5% são $V_L = 0,7533P^{-0,19}$, $V_L = 1,3651P^{-0,27}$ e $V_L = 2,0540P^{-0,35}$, respectivamente.

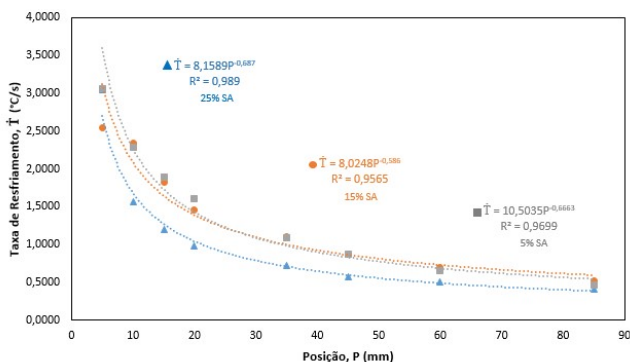


Figura 12: Taxa de resfriamento com 25%, 15% e 5% de superaquecimento da Liga Al-4%Cu.

As expressões que caracterizam a variação experimental da taxa de resfriamento em função da posição para as condições de superaquecimento de 25, 15 e 5% são $\dot{T} = 8,1589P^{-0,687}$, $\dot{T} = 8,0248P^{-0,586}$ e $\dot{T} = 10,5035P^{-0,6663}$, respectivamente.

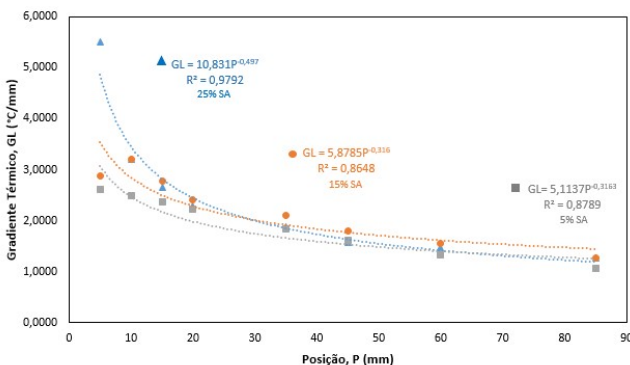


Figura 13: Gradiente térmico com 25%, 15% e 5% de superaquecimento da Liga Al-4%Cu.

As expressões que caracterizam a variação experimental do gradiente térmico em função da posição para as condições de superaquecimento de 25, 15 e 5% são $G_L = 10,831P^{-0,497}$, $G_L = 5,8785P^{-0,316}$ e $G_L = 5,1137P^{-0,3163}$, respectivamente

Observa-se que os parâmetros térmicos velocidade de deslocamento da isoterma liquidus, taxa de resfriamento e gradiente térmico diminuem com o afastamento da interface metal/molde.

As macroestruturas da liga Al-4%Cu são apresentadas na Figura 14. Correspondem aos resultados da liga solidificada unidirecionalmente na vertical ascendente a partir do vazamento com 25, 15 e 5% de superaquecimento.

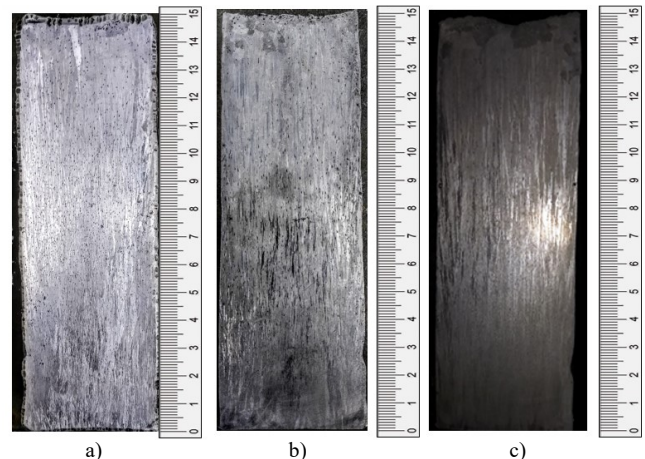
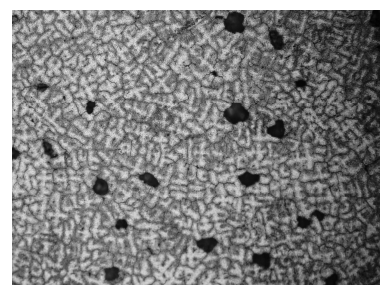


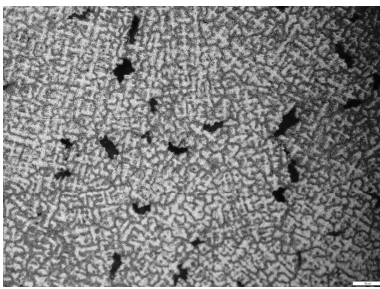
Figura 14: Macroestrutura colunar da Liga Al-4%Cu em diferentes condições de superaquecimento. a) 25%, b) 15 e c) 5%.

Observa-se a ocorrência de estruturas predominantemente colunares nas três condições de superaquecimento, sendo resultados similares a obtidos em outros estudos [2] [3]. A estrutura colunar é favorecida com o aumento da temperatura de vazamento e efeito similar do superaquecimento é obtido com o pré-aquecimento do molde metálico. Teores de soluto baixos também contribuem para a formação de estruturas colunares [1].

As microestruturas resultantes destes experimentos apresentaram morfologia dendrítica, conforme podem ser observadas em algumas das imagens nas Figuras 15, 16 e 17. As microestruturas correspondem às análises de microscopia ótica das secções transversais da liga Al-4%Cu com 25, 15 e 5% de superaquecimento nas posições 5, 10, 15, 20, 35, 45, 60 e 80mm a partir da interface metal/molde. Os espaçamentos dendríticos primários e os parâmetros térmicos velocidade de deslocamento da isoterma liquidus, taxa de resfriamento e gradiente térmico foram todos determinados experimentalmente.

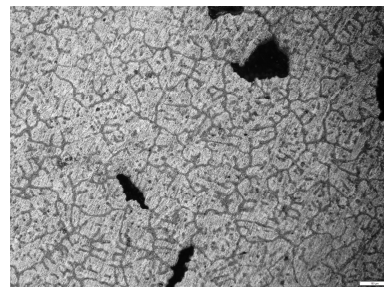


Posição = 5 mm
SA = 25%
 $\lambda_1 = 42,8 \mu\text{m}$
IC_{95%} (40,9-44,6)
 $V_L = 0,5 \text{ mm/s}$
 $\dot{T} = 3,0 \text{ °C/s}$
 $G_L = 5,5 \text{ °C/mm}$
a)



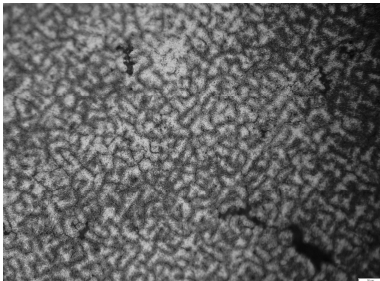
Posição = 5 mm
SA = 15%
 $\lambda_1 = 29,7 \mu\text{m}$,
IC_{95%} (28,4-31,0)
 $V_L = 0,8 \text{ mm/s}$
 $\dot{T} = 2,5 \text{ }^\circ\text{C/s}$
 $G_L = 2,9 \text{ }^\circ\text{C/mm}$

b)



Posição = 85 mm
SA = 15%
 $\lambda_1 = 197,6 \mu\text{m}$,
IC_{95%} (189,0-206,1)
 $V_L = 0,4 \text{ mm/s}$
 $\dot{T} = 0,5 \text{ }^\circ\text{C/s}$
 $G_L = 1,2 \text{ }^\circ\text{C/mm}$

b)



Posição = 5 mm
SA = 5%
 $\lambda_1 = 17,2 \mu\text{m}$,
IC_{95%} (16,2-18,2)
 $V_L = 1,2 \text{ mm/s}$
 $\dot{T} = 3,1 \text{ }^\circ\text{C/s}$
 $G_L = 2,6 \text{ }^\circ\text{C/mm}$

c)



Posição = 85 mm
SA = 5%
 $\lambda_1 = 185,6 \mu\text{m}$,
IC_{95%} (172,4-198,7)
 $V_L = 0,4 \text{ mm/s}$
 $\dot{T} = 0,5 \text{ }^\circ\text{C/s}$
 $G_L = 1,1 \text{ }^\circ\text{C/mm}$

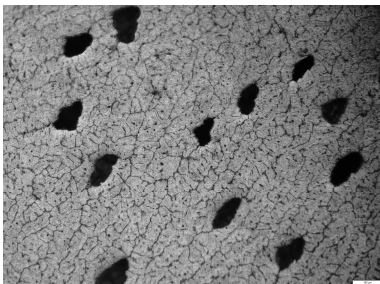
c)

Figura 15: Microestrutura dendrítica na posição 5 mm da Liga Al-4%Cu em diferentes condições de superaquecimento. a) 25%, b) 15 e c) 5%.

Figura 17: Microestrutura dendrítica na posição 85 mm da Liga Al-4%Cu em diferentes condições de superaquecimento. a) 25%, b) 15 e c) 5%.

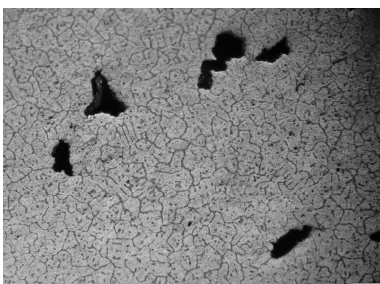
Todas as micrografias apresentaram porosidades como consequência do resfriamento forçado realizado nos experimentos.

Foram realizadas as medições dos espaçamentos dendríticos primários em posições específicas a partir da interface metal/molde e os resultados obtidos com intervalo de confiança de 95% são apresentados na Figura 18.



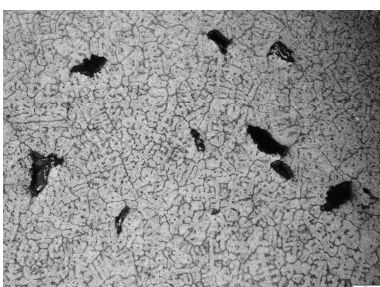
Posição = 35 mm
SA = 25%
 $\lambda_1 = 101,3 \mu\text{m}$,
IC_{95%} (92,7-109,8)
 $V_L = 0,4 \text{ mm/s}$
 $\dot{T} = 0,6 \text{ }^\circ\text{C/s}$
 $G_L = 1,6 \text{ }^\circ\text{C/mm}$

a)



Posição = 35 mm
SA = 15%
 $\lambda_1 = 99,1 \mu\text{m}$,
IC_{95%} (94,3-103,9)
 $V_L = 0,5 \text{ mm/s}$
 $\dot{T} = 1,1 \text{ }^\circ\text{C/s}$
 $G_L = 2,1 \text{ }^\circ\text{C/mm}$

b)



Posição = 35 mm
SA = 5%
 $\lambda_1 = 95,0 \mu\text{m}$,
IC_{95%} (91,4-98,7)
 $V_L = 0,6 \text{ mm/s}$
 $\dot{T} = 1,1 \text{ }^\circ\text{C/s}$
 $G_L = 1,8 \text{ }^\circ\text{C/mm}$

c)

Figura 16: Microestrutura dendrítica na posição 35 mm da Liga Al-4%Cu em diferentes condições de superaquecimento. a) 25%, b) 15 e c) 5%.

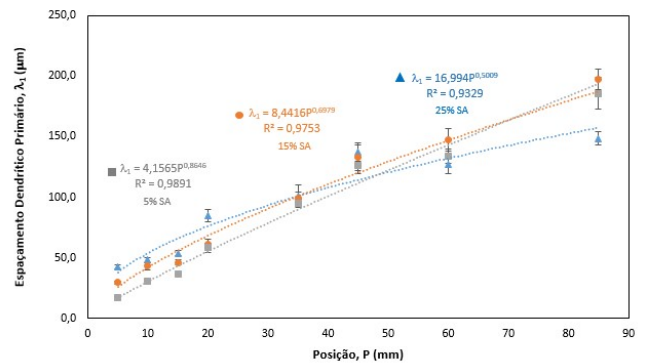
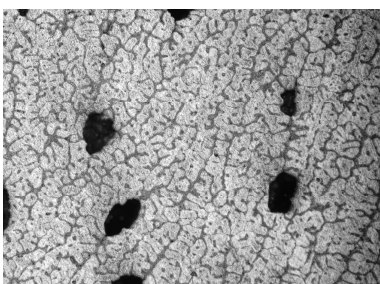


Figura 18: Espaçamento dendrítico primário a partir da interface metal/molde.

Nota-se que os espaçamentos dendríticos primários aumentam à medida que a posição se afasta da interface metal/molde. Este fenômeno é explicado pelos parâmetros térmicos, velocidade de deslocamento da isoterma liquidus, taxa de resfriamento e gradiente térmico, que diminuem progressivamente com o afastamento da superfície refrigerada do lingote devido a resistência térmica crescente da camada solidificada, que ocorre à medida que a solidificação avança. As expressões que caracterizam a variação experimental dos espaçamentos dendríticos primários em função da posição para as condições de superaquecimento de 25, 15 e 5% são $\lambda_1 = 16,994P^{0,5009}$, $\lambda_1 = 8,4416P^{0,6979}$ e $\lambda_1 = 4,1565P^{0,8646}$, respectivamente.

As Figuras 19, 20 e 21 apresentam nas três condições de solidificação examinadas experimentalmente as correlações entre os espaçamentos dendríticos primários com a velocidade de deslocamento da isoterma liquidus, a taxa de resfriamento e o gradiente térmico, respectivamente. Os



Posição = 85 mm
SA = 25%
 $\lambda_1 = 148,5 \mu\text{m}$,
IC_{95%} (142,9-154,1)
 $V_L = 0,3 \text{ mm/s}$
 $\dot{T} = 0,4 \text{ }^\circ\text{C/s}$
 $G_L = 1,3 \text{ }^\circ\text{C/mm}$

a)

pontos representam os valores experimentais médios para cada posição a partir da interface metal/molde, enquanto que a linha representa uma lei experimental que caracteriza o conjunto de pontos experimentais.

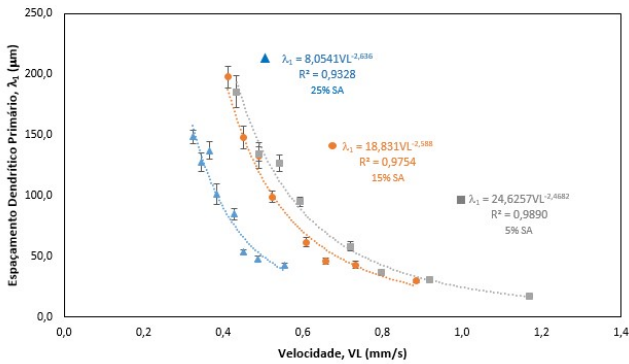


Figura 19: Espaçamento dendrítico primário em função da velocidade de deslocamento da isoterma liquidus.

As expressões que caracterizam a variação experimental dos espaçamentos dendríticos primários em função da velocidade de deslocamento da isoterma liquidus para as condições de superaquecimento de 25, 15 e 5% são $\lambda_1 = 8,0541V_L^{-2,636}$, $\lambda_1 = 18,831V_L^{-2,588}$ e $\lambda_1 = 24,6257V_L^{-2,4682}$, respectivamente.

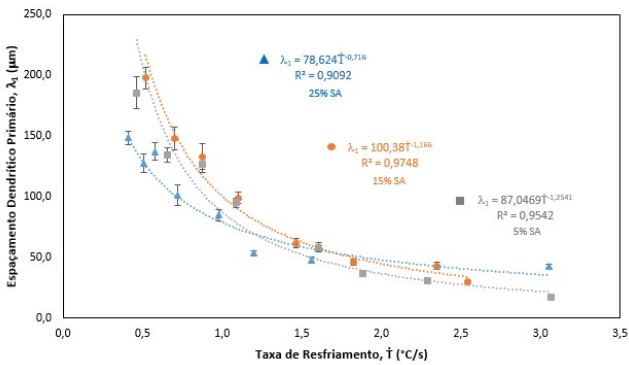


Figura 20: Espaçamento dendrítico primário em função da taxa de resfriamento.

As expressões que caracterizam a variação experimental dos espaçamentos dendríticos primários em função da taxa de resfriamento para as condições de superaquecimento de 25, 15 e 5% são $\lambda_1 = 78,624\dot{T}^{-0,716}$, $\lambda_1 = 100,38\dot{T}^{-1,166}$ e $\lambda_1 = 87,0469\dot{T}^{-1,2541}$, respectivamente.

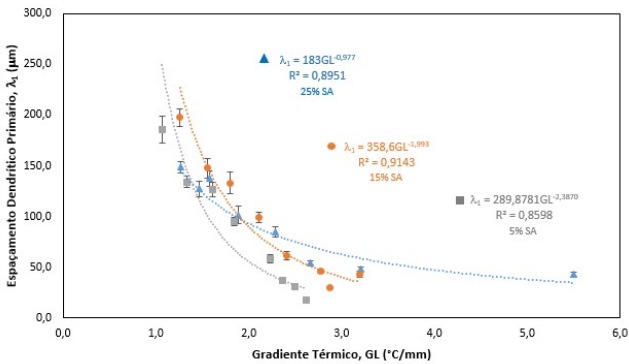


Figura 21: Espaçamento dendrítico primário em função do gradiente térmico.

As expressões que caracterizam a variação experimental dos espaçamentos dendríticos primários em função do gradiente térmico para as condições de superaquecimento de 25, 15 e 5% são $\lambda_1 = 183G_L^{-0,977}$, $\lambda_1 = 358,6G_L^{-1,993}$ e $\lambda_1 = 289,8781G_L^{-2,3870}$, respectivamente.

A partir dos significativos índices de correlação apresentados pelas variáveis térmicas estudadas, as Equações (1), (2) e (3) foram determinadas para prever os espaçamentos dendríticos primários a partir dos parâmetros térmicos velocidade de deslocamento da isoterma liquidus, taxa de resfriamento e gradiente térmico, com 25, 15 e 5% de superaquecimento, respectivamente.

$$\lambda_1 = 452,2 - 470,8V_L + 378,7\dot{T} - 237,4G_L \quad (1)$$

$$\lambda_1 = 640,2 - 831,1V_L + 262,5\dot{T} - 189,0G_L \quad (2)$$

$$\lambda_1 = 415,8 - 325,9V_L + 109,4\dot{T} - 135,0G_L \quad (3)$$

Os valores de R-quadrado ajustados para estas equações foram 0,9427; 0,9905 e 0,9767, respectivamente.

IV. CONCLUSÕES

A análise dos resultados experimentais obtidos e as correlações realizadas permitem as conclusões abaixo destacadas.

A macroestrutura resultante é predominantemente colunar devido às condições de superaquecimento, pré-aquecimento do molde e composição da liga com ter de soluto relativamente baixo.

Sob as condições de solidificação transitória examinadas neste trabalho, os espaçamentos dendríticos primários aumentam com o afastamento da interface metal/molde e diminuem com o aumento da velocidade de deslocamento da isoterma liquidus, da taxa de resfriamento e do gradiente térmico. Isto é explicado pela evolução da solidificação que aumenta a resistência térmica da liga.

Equações para prever os espaçamentos dendríticos primários foram determinadas a partir dos parâmetros térmicos velocidade de deslocamento da isoterma liquidus, taxa de resfriamento e gradiente térmico.

REFERÊNCIAS

- [1] Garcia, A. Solidificação – Fundamentos e aplicações, 2ª Edição, UNICAMP, 2007, pp. 236-241.
- [2] Meza, E. S. Modelagem analítica e numérica da solidificação de ligas binárias: análise de fatores de influência. Tese de Doutorado – UNICAMP, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2012.
- [3] Goulart, P. R. Variáveis térmicas de solidificação, microestrutura e propriedades mecânicas de ligas hipoeutéticas Al-Si, Dissertação de Mestrado, Unicamp, Campinas, SP, 2005.
- [4] CRUZ, K. A. S., Microestrutura de solidificação, resistências mecânicas e ao desgaste de ligas Al-Sn e Al-Si, 2008, Tese (Doutorado), Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas - São Paulo.
- [5] Okamoto, T.; Kishitake K.; Dendritic structure in unidirectionally solidified aluminum, tin, and zinc base binary alloys, Journal of Crystal Growth, v. 129, pp. 137-146, 1975.
- [6] Coutinho, T. de A. Metalografia de não-ferrosos. Editora Edgard Blücher. São Paulo, 1980.
- [7] Gündüz, M; Çardili E.; Directional solidification of aluminium-copper alloys, Materials Science and Engineering A, v. 327 (2), pp. 167-185, 2002.

Avaliação da superfície usinada de espécie alternativa

1st Gabriela Lima de Matos

Centro de Ciências Biológicas e da
Natureza – Curso de Engenharia
Florestal

Universidade Federal do Acre (UFAC)

Rio Branco, AC - Brasil
matoslimagabi@gmail.com

2nd Keiti Roseani Mendes Pereira

Centro de Ciências Biológicas e da
Natureza – Curso de Engenharia
Florestal

Universidade Federal do Acre (UFAC)

Rio Branco, AC - Brasil
keiti.roseani@gmail.com

3rd Carolina Nogueira Xavier

Departamento de Ciências Florestas –
Pós-Graduação em Ciência e
Tecnologia da Madeira

Universidade Federal de Lavras

(UFLA)

Lavras, MG - Brasil
ncarolx@gmail.com

Resumo — A qualidade da superfície usinada é de extrema importância para a indústria madeireira, principalmente para o setor moveleiro. Sendo influenciada pela própria madeira e pelas condições de seu processamento. Assim, o objetivo deste estudo é avaliar a qualidade das superfícies da madeira de *Clitoria fairchildiana* aplainadas e lixadas. Foram utilizadas duas metodologias para a avaliação da qualidade da superfície da madeira: avaliação visual e a análise da rugosidade superficial. Utilizando três árvores, foram confeccionados dezoito corpos de prova da região intermediária da tora, em que uma face era aplainada e a outra lixada. As superfícies foram avaliadas visualmente nas duas condições de preparo (aplainamento e lixamento), atribuindo notas. A rugosidade superficial foi determinada pelo rugosímetro de agulha modelo TR 200 segundo a norma NBR ISO 4287:2002 em que foi obtida a rugosidade média (Ra) nas superfícies aplainadas e lixadas. Na análise visual, observou-se que 44% das amostras aplainadas foram classificadas como ruins, enquanto nas superfícies lixadas a classificadas como ruins foram 33%. Com relação à rugosidade média (Ra), os valores médios foram menores na face lixada da madeira de *Clitoria fairchildiana*.

Palavras-chaves—aplainamento, lixamento, madeira, rugosidade superficial

Abstract—The quality of the machined surface is extremely important for the timber industry, especially for the furniture industry. Being influenced by the wood itself and the conditions of its processing. Thus, the objective of this study is to evaluate the surface quality of *Clitoria fairchildiana* wood planed and sanded. Were used two methodologies to evaluate the surface quality of the wood: visual evaluation and analysis of surface roughness. Using three trees, eighteen samples from the intermediate region of the log were prepared, in which one face was planed and the other sanded. The surfaces were evaluated visually in the two preparation conditions (planing and sanding), assigning grades. The surface roughness was determined by the model TR 200 according to the norm ISO 4287: 2002 in which the average roughness (Ra) was obtained on the planed and sanded surfaces. In the visual analysis, it was observed that 44% of the flattened samples were classified as bad, while the sanded surfaces classified as bad were 33%. Regarding the average roughness (Ra), the average values were lower in the sanded face of *Clitoria fairchildiana* wood.

Keywords— Alternative species, machining, wood.

I. INTRODUÇÃO

A madeira de *Clitoria fairchildiana* R.A.Howard, pertencente à família Fabaceae e subfamília Papilionoideae possui copa frondosa [8]. São popularmente conhecidas como faveira, sombreiro ou palheteira. Ocorre

principalmente na Floresta Ombrófila Densa na Amazônia, em formações secundárias e apresenta nítida preferência por solos férteis e úmidos, podendo também ocorrer em áreas abertas e alteradas [3] [8].

Apresenta madeira moderadamente pesada e de média resistência, é empregada em construção civil como divisórias de casas, forros, para confecção de brinquedos e caixotaria, além de proporcionar ótima sombra e apresentar características ornamentais, tornando-se assim, excelente, para arborização rural e urbana de parques jardins, estradas, dentre outros [10] [6]. Por ser uma espécie rústica e de rápido crescimento, é extremamente útil nos reflorestamentos heterogêneos destinados à reconstituição da vegetação e recuperação de áreas degradadas [8] [11].

Os resíduos da poda urbana da árvore de *Clitoria fairchildiana*, juntamente com outras espécies da arborização urbana da cidade Rio de Janeiro, estão sendo utilizados na fabricação de mobiliário urbano pelo projeto Reinvente. Esse projeto é uma iniciativa da Companhia Municipal de Limpeza Urbana (Comlurb), que desde novembro de 2017 aproveitam madeiras descartadas em boas condições para confecção de bancos, mesas, balanços e várias outras peças que são aproveitadas em praças e locais públicos [12].

Diante desse contexto, a utilização de madeiras de espécies alternativas como *Clitoria fairchildiana* revela um ampliação do seu uso para móveis.

A qualidade da superfície da madeira é de suma importância para indústria de processamento devido ao seu impacto direto na qualidade do produto final. Os processos de usinagem, adesão e revestimentos são frequentes utilizados nas indústrias moveleiras.

A caracterização da superfície da madeira é complexa, inclui as propriedades físicas (morfologia, rugosidade e permeabilidade) e químicas (composição molecular e grupos funcionais).

A qualidade da superfície da madeira usinada pode ser avaliada por inúmeras técnicas, entre elas, pode-se destacar o método quantitativo, que envolve a medição da rugosidade através da análise de um perfil da superfície da madeira e o método qualitativo, que avalia visualmente a superfície da madeira atribuindo notas em relação ao defeito nas peças de madeira ocasionado pelo seu processamento.

A rugosidade representa as irregularidades (picos, depressões, fendas, fibras soltas e outros detritos) da superfície e depende da estrutura celular (ex.: grã, largura dos anéis de crescimento, proporção de lenho tardio e lenho inicial, raios, nós, madeira juvenil e adulta, madeira de

reação e estruturas celulares específicas) [4]; e do método de processamento.

As medições da rugosidade superficial segundo a NBR ISO 4287:2002 [1] são realizadas avaliando os parâmetros de amplitude, sendo eles: rugosidade aritmética ou média (Ra) que é determinada em função da linha média do perfil de rugosidade; rugosidade total (Rz) que corresponde à distância vertical entre o pico mais alto (Rp) e o vale mais profundo (Rv) no comprimento de medição, independente dos valores de rugosidade parcial; e rugosidade máxima (Ry ou Rt) definida como o maior valor das rugosidades parciais que se apresenta no percurso de medição (*cut-off*).

A rugosidade superficial da madeira é influenciada por vários aspectos, como: o tipo de processo de usinagem empregado; estrutura anatômica; grã; largura dos anéis de crescimento; raios; nós; madeira de reação e relação de lenho inicial e lenho tardio [13].

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de dois processos de usinagem (aplainamento e lixamento) na rugosidade da madeira de *Clitoria fairchildiana* R.A.Howard utilizando o rugosímetro de contato.

II. MATERIAL E MÉTODOS

A. Procedência do material

Foram utilizadas três árvores de *Clitoria fairchildiana*, popularmente conhecida como sombreiro, provenientes do Campus Mata Atlântica da Fundação Oswaldo Cruz (CFMA/FIOCRUZ), na zona de amortecimento do Parque Estadual da Pedra Branca no município do Rio de Janeiro - RJ. As árvores possuem autorização de corte de acordo com a licença nº 002920, concedida pela Secretaria Municipal de Ambiente e Cultura do Rio de Janeiro – SMAC.

B. Confeção dos corpos de prova

As toras foram divididas em três regiões: externo, intermediário e central conforme Figura 1.

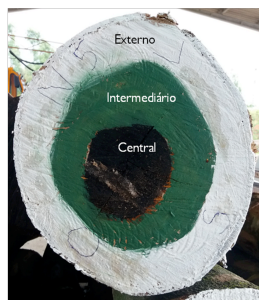


Figura 1. Regiões da tora

Para este estudo foram retiradas tábuas da região intermediária da tora, confeccionados dezoito corpos de provas de 20 x 5 x 1 cm. As duas faces dos corpos de prova foram apainadas na plaina desempenadeira, com cabeçote de 105 mm de diâmetro, com três facas e rotação do eixo porta facas de 3600 min⁻¹. Em uma das faces além do apainamento foram lixados com grã de 100 em lixadeira de

esteira durante trinta segundos, procedimentos realizados no Laboratório de Usinagem da Madeira (DCF/UFLA).

C. Avaliação visual da qualidade da superfície da madeira

A avaliação visual da qualidade da superfície foi feita de acordo com [5]. Nas Tabela 1 e 2 estão apresentadas as notas com suas respectivas características utilizada na avaliação qualitativa das superfícies. As notas de 1 a 3 foram atribuídas de acordo com os defeitos e características distintas existentes nas superfícies das amostras. Na superfície apainada foram avaliados defeitos como: fibra arrepiada, textura áspera, grã felpuda e endentações. Na superfície lixada os defeitos e características analisados foram: brilho e opacidade, marca de lixa ou plaina, risco superficial, fibras arrepiadas, depressões ou endentações e textura áspera.

Tabela 1. Notas atribuídas para qualidade da superfície da madeira apainada

Processo	Nota	Características
Aplainamento	1	Aplainamento considerado bom. Superfície razoavelmente lisa, pouca ou nenhuma fibra arrepiada.
Aplainamento	2	Aplainamento considerado mediano. Partes da peça com fibra arrepiada, textura áspera, presença de grã felpuda, pouca ou nenhuma fibra arrepiada, endentações.
Aplainamento	3	Aplainamento considerado ruim. Superfície bastante marcada, muita quantidade de fibras arrepiadas, muita endentação (batidas), textura áspera.

Fonte: Fonte, 2016

Tabela 2. Notas atribuídas para qualidade da superfície da madeira lixada

Processo	Nota	Características
Lixamento	1	Lixamento considerado bom. Superfície perfeita, sem a presença de nenhum defeito, superfície brilhante (mesmo com a presença de nós).
Lixamento	2	Lixamento considerado mediano. Superfície com pouca ou nenhuma marca de lixa ou plaina, pouco ou nenhum risco superficial, poucas ou nenhuma fibra arrepiada, superfície brilhante.
Lixamento	3	Lixamento considerado ruim. Superfície levemente opaca, textura áspera, com maior presença de fibras arrepiadas, depressões ou endentações.

Fonte: Fonte, 2016

D. Determinação da rugosidade superficial

A medição da rugosidade da superfície foi determinada pelo rugosímetro de agulha modelo TR 200 (Figura 2 - A) segundo a norma NBR ISO 4287:2002 [1]. As medições foram realizadas em três pontos das superfícies apainadas e lixadas (Figura 2 - B).

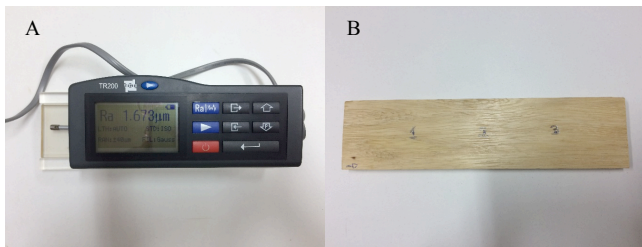


Figura 2. Rugosímetro TR 200 (A); Pontos mensurados nas amostras (B)

Em cada ponto foi analisado a rugosidade aritmética ou média (Ra): determinada em função da linha média do perfil de rugosidade; O comprimento de amostra (*cut-off*) para calcular o Ra foi fixado de acordo com as recomendações do aparelho, conforme Tabela 3. O comprimento de medição foi de 5 mm com comprimento de amostragem (*cut-off*) de 2,5 mm para todas as amostras e utilizou-se filtro Gauss.

E. Análise Estatística

Os dados dos resultados da rugosidade média superficial foram anotados em uma tabela para geração de uma planilha Excel. A análise estatística foi realizada com o uso do programa Action 2.9. A normalidade dos dados foi verificada através do teste de Kolmogorov-Smirnov. Os dados dos parâmetros de rugosidade não atenderam os pressupostos da análise de variância, portanto, utilizou-se os testes não paramétricos Kruskal-Wallis.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 apresenta as notas atribuídas as amostras por meio da análise visual para os dois tipos de preparo da superfície (aplainada e lixada). Os resultados da avaliação visual das superfícies applainadas e lixadas da madeira de *Clitoria fairchildiana* podem ser considerados como medianos. De forma geral, as amostras lixadas não apresentaram melhoria na qualidade da superfície da madeira. A superfície applainada foi classificada como boa (17%), mediana (39%) e como ruim (44%), entretanto, após o lixamento as amostras foram classificadas como boa (22%), mediana (45%) e ruim (33%). Segundo Dias Júnior et al. (2013) madeiras que apresentem superfícies classificadas como “excelente” e “boa” podem apresentar possibilidade do uso para esquadrias e móveis.

Tabela 3: Comprimento de amostragem (*cut-off*) recomendado em função da rugosidade média (Ra) e da rugosidade total (Rz).

Superfície	Nota		
	1	2	3
Aplainada	3	7	8
Lixada	4	8	6

A rugosidade média superficial (Ra) apresentou diferenças significativas entre as superfícies applainadas e lixadas da madeira de *Clitoria fairchildiana*. Os valores médios para o parâmetro Ra foram de 4,43 μm para face applainada e 2,74 μm para face lixada.

Avaliando-se os perfis de rugosidade superficial típicos da madeira de *Clitoria fairchildiana* (Figura 3 e 4) nas duas condições de preparo da superfície, observa-se que o lixamento diminuiu os picos e eliminou alguns vales

presentes na superfície das amostras. Essa diminuição nos picos e vales ocorre devido a uniformidade da superfície e a menor influência da estrutura anatômica após o processo de lixamento [9].

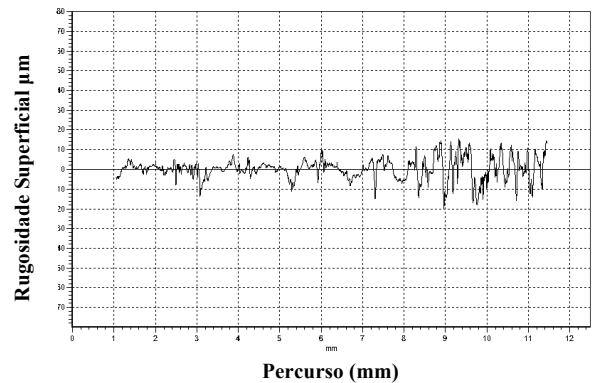


Figura 3. Perfil de rugosidade superficial típico da madeira de *Clitoria fairchildiana*, superfície applainada.

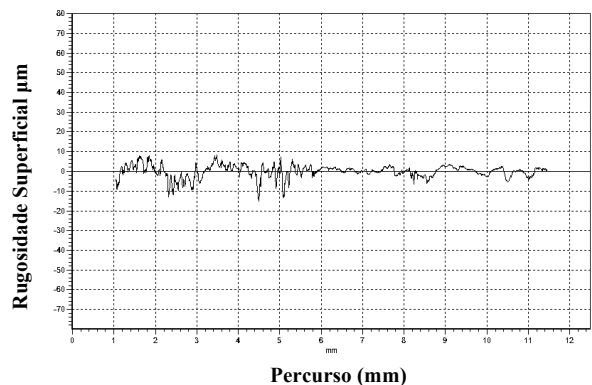


Figura 4. Perfil de rugosidade superficial típico da madeira de *Clitoria fairchildiana*, superfície lixada.

A rugosidade média superficial é uma característica indicativa de uma boa qualidade da superfície da madeira principalmente para a produção de móveis. Parâmetro de Ra menores apresentam superfície mais homogênea facilitando a aplicação de revestimentos. Entretanto, essa característica da superfície não deve ser vista isoladamente para que a madeira seja ou não apta para produção de móveis.

IV. CONCLUSÃO

A madeira de *Clitoria fairchildiana* apresentou superfícies com qualidade medianas (nota 2) em 39% das superfícies applainadas e 45% das superfícies lixadas.

Os menores valores da rugosidade média superficial foram obtidos para as amostras com superfície lixada.

Portanto em relação à qualidade da superfície da madeira de *Clitoria fairchildiana*, a espécie apresenta potencial para uso mobiliário.

AGRADECIMENTOS

À FioCruz Mata Atlântica por disponibilizar o material de estudo.

REFERENCIAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 4287 Especificações geométricas dos produtos (GPS) – rugosidade: método do perfil – termos, definições e parâmetros da rugosidade. Rio de Janeiro, 2002
- [2] DIAS JÚNIOR, A.F.; SANTOS, P.V.; PACE, J.H.C.; CARVALHO, A.M.; LATORRACA, J.V.F. Caracterização da madeira de quatro espécies florestais para uso em movelaria. *Ciência da Madeira* (Braz. J. Wood Sci.), Pelotas, v. 04, n.01, p. 93-107, Maio de 2013.
- [3] DUCKE, A. Notas sobre a flora neotropical II: as leguminosas da Amazônia brasileira. Belém: IAN, 1949.
- [4] DUNDAR, T.; AKBULUT, T.; KORKUT, S. The effects of some manufacturing factors on surface roughness of sliced Makoré (*Tieghemella heckelii* Pierre Ex A. Chev.) and rotary-cut beech (*Fagus orientalis* L.) veneers. *Building and Environment*, v. 43, p. 469-474, 2008.
- [5] FONTE, A.P.N. Utilização da madeira de *Cryptomeria japonica* para a produção de painéis colados lateralmente e aplicação de acabamento superficial. p 77-78 – Curitiba, 2016
- [6] GUAJARÁ, M. ; CARVALHO, AG; SANTOS, W. ; GONÇALVES, K. Aspectos da Biologia de *Euphalerus clitoriae* Burckhardt & Guajará, 2000 (Hemiptera: Psyllidae) em Condições de Campo. *Floresta e Ambiente*, v.10.2003.
- [7] KILIC, M.; HIZIROGLU, S.; BURDURLU, E. Effect of machining on surface roughness of wood. *Building and Environment*, v. 41, n. 8, p. 1074-1078, 2006
- [8] LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas no Brasil. Nova Odessa: Plantarum, 1992.
- [9] MOURA, F. L.; HERNÁNDEZ, E. R. Effects of abrasive mineral, grit size and feed speed on the quality of sanded surfaces of sugar maple wood. *Wood Science and Technology*, v. 40, n. 6, p. 517-530, mar. 2006.
- [10] PAULA, J.E.; ALVES, J.L.H. Madeiras nativas: anatomia, dendrologia, dendrometria, produção e uso. Brasília, DF: Fundação Mokiti Okada – MOA, 1997.
- [11] PORTELA, R.Q.C.; SILVA, I.L.; PIÑA-RODRIGUES, F. C.M. Crescimento inicial de mudas de *Clitoria fairchildiana* Howard e *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. em diferentes condições de sombreamento. *Ciência Florestal*, v. 11, n. 2, p. 163-170, 2001
- [12] PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO. Reivente, da Comlub, cria mobiliário urbano a partir de madeira que iria para o lixo. Disponível em: < <http://prefeitura.rio/web/guest/exibeconteudo?id=7818108>> Aceso em : 1 de Agosto de 2018.
- [13] TAYLOR, J. B.; CARRANO, A. L.; LEMASTER, R. L. Quantification of process parameters in a Wood sanding operation. *Forest Products Journal*. V. 49, n. 5, p. 41-46, 1999.

Monitoramento Ambiental Remoto da Qualidade da Água

Alexandre Silva de Lima
Departamento de Engenharia Mecânica
CEFET/RJ
Rio de Janeiro, Brasil
alexandre.silva.lima@cefet-rj.br

Maria José Paes Santos
Departamento de Engenharia Ambiental
CEFET/RJ
Rio de Janeiro, Brasil
paesmj@yahoo.com

Maria Cristina José Soares
Departamento de Engenharia Ambiental
CEFET/RJ
Rio de Janeiro, Brasil
mcrism@gmail.com

Juliane Pereira Zago
Departamento de Engenharia Ambiental
CEFET/RJ
Rio de Janeiro, Brasil
juzago.9@gmail.com

Julio César de Oliveira Antunes
Departamento de Engenharia Ambiental
CEFET/RJ
Rio de Janeiro, Brasil
jcoantunes1@gmail.com

Luiz Guilherme Santos de Lima
Departamento de Engenharia Ambiental
CEFET/RJ
Rio de Janeiro, Brasil
luizguilherme1997.lg@gmail.com

Yuri Nascimento da Silva
Departamento de Engenharia Eletrônica
CEFET/RJ
Rio de Janeiro, Brasil
yurins.oficial@gmail.com

Resumo — Este trabalho tem como objetivo monitorar três parâmetros importantes à análise da qualidade de água de ambientes controlados e naturais, são eles: potencial hidrogeniônico (pH), temperatura e turbidez. Para tal, será utilizada a plataforma arduino uno ligada a três sensores, um referente a cada indicador, e a um módulo bluetooth, o qual será utilizado como um canal para a aquisição remota dos dados. Essa plataforma será montada em um sistema flutuante que ficará ancorado em uma localização específica do ambiente analisado. Os resultados obtidos serão analisados e classificados de acordo com o Índice de Qualidade de Água (IQA). Ao final das medições, será construído um banco de dados que servirá para o acompanhamento da potabilidade e qualidade da água bem como um comparativo para futuras análises. Com isso, espera-se permitir uma alternativa economicamente viável e ao mesmo tempo funcional de monitoramento ambiental em tempo real para serem aplicados em pesquisas e projetos posteriores.

Palavras Chave – Monitoramento ambiental, parâmetros ambientais, arduino e análise da água.

I. INTRODUÇÃO

Segundo as Nações Unidas, a água é a questão central do desenvolvimento sustentável e, conseqüentemente, fundamental para as críticas condições sócio-econômicas, das questões relacionadas a energia, da produção de alimentos, ecossistemas saudáveis e para a própria sobrevivência humana. Ela também é o coração das adaptações para as mudanças climáticas, servindo como um vínculo entre a sociedade e o meio ambiente. Isso justifica a importância de sua manutenção ser vital para todo o planeta, visto que é um dos recursos principais para ele e, além disso, é um recurso essencial para todas as formas de vida existentes no planeta, por estar presente em diversos processos físicos, químicos e biológicos (TUNDISI, 2003), sua disponibilidade é um dos fatores mais importantes a moldar e sustentar os ecossistemas (BRAGA et al., 2009). Dessa forma, é fundamental que seja preservado visto que

isso está condicionado com a manutenção da vida no planeta.

Além disso, para que haja a preservação desse recurso, é necessário conhecer dados sobre determinados parâmetros que nos permitam classificá-los ou quantificá-los seguindo padrões, como os do Índice de Qualidade de Água (IQA), o qual foi usado nesse projeto, assim como atualizá-los visto que tanto as inovações tecnológicas nos permitem obter novas inferências sobre determinados padrões como a natureza encontra-se em constante mudança. Como exemplo disso, a água destinada ao consumo humano deve obedecer a uma série de requisitos para se constituir em água potável. O padrão de potabilidade da água é definido na Portaria 36, de 19 de janeiro de 1990, do Ministério da Saúde, que sofreu alterações conforme Portaria nº1469 de 29 de dezembro de 2000 (BRASIL, 2000).

Os parâmetros foram escolhidos pelo custo-benefício dado pela análise tanto da viabilidade econômica de seus sensores, algo que influencia diretamente em criar o protótipo, quanto pela importância e relevância que irão trazer, justificando um investimento maior em sensores chave, como de pH. Por isso, foram escolhidos o potencial hidrogeniônico (pH), a temperatura e a turbidez, sendo os dois primeiros vitais para os seres vivos marinhos uma vez que afetam sua reprodução, desova ou, em condições mais extremas, a própria vida desses seres. A turbidez é relacionada com a existência ou ausência dos sólidos em suspensão na água que podem, também, afetar bruscamente as condições de vida dos habitantes do ecossistema aquático assim como quem estiver em contato com ele, pois a turbidez dá informações indiretas sobre o nível de poluição em que se encontra o recurso hídrico.

Esse protótipo estará embarcado em um sistema flutuante que ficará ancorado em um determinado local enquanto os sensores estarão em contato com a água para assim aferir seus respectivos parâmetros. A associação de um módulo bluetooth vai permitir pairar com outro

dispositivo, como um computador, um aparelho telefônico celular ou um tablet, para que os dados sejam transferidos a distância e a qualquer instante. Caso seja necessário, pode-se trocar a posição do sistema flutuante para obter informações de outras áreas para um efeito comparativo, por exemplo, se a dispersão de algum material está mais concentrada em algum outro local.

II. DESENVOLVIMENTO

A escolha dos parâmetros foi determinada devido ao grau de influência que cada um exerce na determinação da qualidade da água assim como sua viabilidade econômica. Os escolhidos foram estes: temperatura, turbidez e pH.

A temperatura é uma variável ambiental crítica nos ecossistemas de água doce, por ser fator determinante das taxas metabólicas dos organismos e processos ecossistêmicos, podendo ser medida em graus Celsius (°C) (ESTEVES, 1998; ALLAN & CASTILLO, 2007). É relevante, portanto, analisar a variação de temperatura dos corpos hídricos visto que esta é decisiva para a sobrevivência, crescimento, reprodução, em resumo, para o ciclo de vida de diversos seres, ou seja, flutuações entre três e quatro graus Celsius ao longo do dia são suficientes para atingirem o limite de tolerância térmica de diversos animais aquáticos, o que pode levá-los a morte. A sua aplicação principal encontra-se na piscicultura onde sua escala é diretamente correlacionada com a qualidade ou a existência da vida marinha.

A turbidez da água é definida como a medida da propriedade de dispersão da radiação, devido a presença de materiais em suspensão (ESTEVES, 1998; BRAGA et al., 2009). Então, através do índice de turbidez da água analisada obtêm-se informações sobre a qualidade da mesma, isto é, a partir da análise é possível concluir se há a presença de sólidos em suspensão, matéria orgânica, microorganismos, entre outros, conforme o grau de dificuldade que um feixe de luz encontra para atravessar a água. De tal modo que, quanto maior o nível de espalhamento dos feixes maior é o valor da turbidez.

O valor do pH influi na distribuição das formas livre e ionizada de diversos compostos químicos, influência na solubilidade de substâncias e define o potencial de toxicidade de vários elementos (BRASIL, 2006). O potencial hidrogeniônico (pH) varia numa escala de zero a catorze, valores de pH compreendidos entre zero e sete determinam que a água encontra-se ácida, se o pH obtido for igual a sete a água está neutra, entretanto, se o pH da água analisada for superior a sete e inferior a catorze a água apresenta-se básica (ou alcalina).

O hardware escolhido foi o microcontrolador arduino, um sistema programável de código aberto, que será realizado para a aquisição e análise dos dados por meio dos tipos sensores citados anteriormente visando realizar o monitoramento ambiental, especificamente fazendo uma análise da qualidade da água nos locais escolhidos.

Os dados obtidos e processados serão disponibilizados por meio de um módulo bluetooth. Sendo assim possível realizar a aquisição dos dados a partir de um aplicativo gratuito disponível para dispositivos móveis.

Em posse dos dados, será analisado em um computador para obter os resultados parciais das medições feitas durante o período de aquisição e processamento e, posteriormente, será classificado com base nos valores dos parâmetros padrões do Índice de Qualidade das Águas (IQA) criado pela *National Sanitation Foundation* e adotado em todo o país.

Na figura 1 é apresentado um esquema do sistema. Nele, pode-se visualizar os sensores (responsáveis pela coleta de informação), o arduino (responsável pelo processamento e o banco de dados), o módulo bluetooth (canal de aquisição dos dados processados) e o dispositivo móvel (utilizado para captação dos resultados do processo para futura análise).

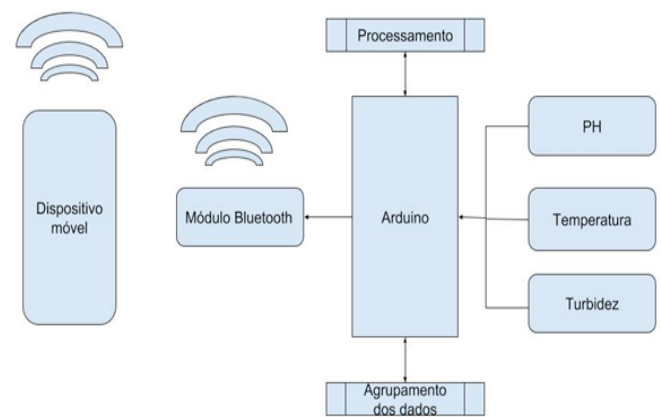


Fig. 1. Esquema do protótipo.

III. METODOLOGIA

1.1 Escolha do sistema de aquisição

Foram escolhidos os sensores, de pH, temperatura e turbidez, assim como o controlador arduino uno, por meio de uma pesquisa bibliográfica, para escolher quais seriam os mais importantes parâmetros para serem analisados e qual o hardware economicamente viável.

1.2 Início da construção do protótipo

Nessa fase, começará toda a parte de programação dos sensores, que apesar de terem uma biblioteca própria na linguagem de programação C, precisará ser adaptada as necessidades do projeto. Ao mesmo tempo, será construído o sistema flutuante do protótipo, que o possibilitará ficar emerso na água. Após realizada a conexão dos sensores com o sistema do Arduino Uno, os novos dados serão estruturados para que possam ser salvos dentro do sistema para futuramente serem enviados por meio do dispositivo Bluetooth.

Após realiza toda a montagem dos componentes e concluída a programação necessária para o funcionamento, serão iniciados os testes do equipamento em um local controlado, a princípio, uma piscina ou uma caixa d'água.

1.3 Fase de Testes em Ambiente Controlado

Nessa etapa, serão feitos os ajustes, por meio de estímulos, ou seja, variações de temperaturas, turbidez e pH, em ambiente controlado, para que sejam executadas as alterações necessárias na programação do sistema. Analogamente, serão feitos ajustes para solucionar quaisquer problemas adicionais que possam haver: na montagem do protótipo, erros de medição dos sensores, em mantê-lo imóvel no local desejado, no circuito montado para os sensores. Ao mesmo tempo, serão iniciados os testes com o dispositivo que transmitirá os dados via Bluetooth, testando seu alcance, consumo da bateria e, conseqüentemente, a vida útil do protótipo quando estiver no local o monitoramento remoto será realizado e a velocidade com que os dados serão enviados em relação ao volume de dados que serão transmitidos.

Por fim, nesse momento, o protótipo sairá de um local controlado, ou seja, em condições ideais, e irá monitorar um local natural, em condições não-controladas. Uma situação de aplicação real.

1.4 Fase de Testes em Ambiente Natural

Com os resultados obtidos anteriormente, será conhecida a margem de erro e, com maior precisão, os dados físico-químicos da água assim como os efeitos biológicos causados com o passar do tempo. Com o intuito de gerar relatórios sobre um local específico, como, por exemplo, a Lagoa Rodrigo de Freitas, localizada na Zona Sul da cidade do Rio de Janeiro.

1.5 Validação dos dados

Uma vez que foi realizada a coleta de dados, em ambiente natural, essa etapa terá como fundamento verificar a relevância dos dados obtidos e sua influência nos resultados, ao mesmo tempo em que, irão confirmar ou contradizer as hipóteses iniciais.

1.6 Elaboração do Relatório Final

Após finalizada a amostragem de dados quantitativos sobre o local natural analisado, será gerado um relatório em que demonstrará o nível de poluição e sua evolução, permitindo assim, um monitoramento em tempo real da área analisada.

AGRADECIMENTOS

Os alunos agradecem aos orientadores, os professores Alexandre Silva de Lima, Maria Cristina José Soares, Júlio César de Oliveira Antunes e Maria José Paes Santos, docentes do CEFET/RJ, pelo apoio e paciência dedicados em nos auxiliar neste projeto e por acreditarem no projeto.

REFERÊNCIAS

- [1] ALLAN, J. D.; CASTILLO, M. M. *Stream Ecology – Structure and function of running waters*. The Netherlands: Springer, 2007, p. 436.
- [2] *Avaliação da qualidade da água e a importância do saneamento básico no Brasil*. Disponível em: <<https://www.uninter.com/revistameioambiente/index.php/meioAmbiente/article/viewFile/762/316>>. Acesso em: 06/05/2018 às 09:43.
- [3] BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MIERZWA, J. C.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. *Introdução à engenharia ambiental*. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009. p. 318.
- [4] BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 1469 de 2000. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 29 de dezembro de 2000. Seção 1, p. 19.
- [5] BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano/Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 281 p.
- [6] ESTEVES, F. A. *Fundamentos de Limnologia*. 2 eds. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. p. 602.
- [7] *Global Issues - Water*. Disponível em: <<http://www.un.org/en/sections/issues-depth/water/index.html>>. Acesso em: 21/05/2018 às 19:40.
- [8] TUNDISI, J. G. *Água no século XXI: enfrentando a escassez*. 1 ed. São Carlos: Rima, IIE, 2003. 248p.

Avaliação dos níveis de PM_{2,5} na Zona Industrial de Mirandela - Portugal

(1) Rafaela Cruz Alves
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
Londrina, Brasil
rafaelacruzalves15@gmail.com

(2) Artur Gonçalves
Centro de Investigação de Montanha
Instituto Politécnico de Bragança
Bragança, Portugal
ajg@ipb.pt

(3) Leila Droprinchinski Martins
Departamento de Química
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
Londrina, Brasil
leilamartins@gmail.com

(4) Manuel Feliciano
Centro de Investigação de Montanha
Instituto Politécnico de Bragança
Bragança, Portugal
msabença@ipb.pt

Resumo — As áreas industriais urbanas causam grande preocupação, pelos impactos negativos que podem ter na saúde humana, sendo uma delas a qualidade do ar. De entre os poluentes atmosféricos, o material particulado é um dos mais abundantes nas atmosferas desses locais pela concentração de várias atividades. O material particulado é predominantemente emitido por fontes antrópicas, podendo ficar suspensas no ar por horas ou até mesmo semanas, muitas vezes, transportadas para regiões mais distantes. A fim de verificar os níveis de partículas finas inaláveis (PM_{2,5}) na Zona Industrial de Mirandela, de modo a avaliar a influência da Zona Industrial (ZI) na magnitude deste poluente no ar. As concentrações de PM_{2,5} foram medidas em 9 locais, entre abril e junho de 2018. No total foram realizadas 11 campanhas de medição, quatro no período diurno, cinco no período vespertino e dois no período noturno. A análise das médias da concentração de PM_{2,5} da área obteve resultados esperados, onde os pontos localizados no perímetro da ZI apresentaram maiores concentrações quando comparados com os pontos localizados na sua envolvente. Os valores médios variaram entre 7µg/m e 13µg/m e os máximos entre 18µg/m e 87µg/m. Na envolvente, as concentrações médias foram sistematicamente mais baixas, tendo variado entre 6 µg/m e 7 µg/m e as máximas entre 17µg/m e 35µg/m. Foi também encontrada uma forte correlação entre o padrão espacial da intensidade de tráfego e o padrão espacial dos níveis de PM_{2,5}, comprovado pelo coeficiente de Pearson ($r = 96\%$). Apesar da existência de algumas fontes industriais de material particulado, o tráfego rodoviário foi identificado como a principal fonte durante o período de avaliação.

Palavras chaves - Material particulado, monitorização, padrão espacial, Mirandela.

I. INTRODUÇÃO

Os parques industriais (PI) ou as zonas industriais (ZI) constituem um espaço territorial, no qual se agrupam uma série de atividades industriais ou empresariais que podem estar relacionadas entre si. A concentração de atividades pode promover inovação, aprendizagem tecnológica e o crescimento das empresas [1]. Apesar dos PI trazerem para a comunidade local melhorias económicas, podem ser a origem da degradação da qualidade do ambiente e das regiões onde se encontram instalados. Um dos pontos mais negativos associados às zonas industriais, é a degradação da qualidade do ar e a consequente exposição humana a níveis elevados de poluentes atmosféricos [2].

Sendo o material particulado (PM) responsável no mundo por 3 milhões de óbitos anuais. Em Portugal, a má qualidade do ar foi responsável pela morte de 6630 pessoas, devido a problemas associados a essa poluição, e desse número 3710 foram devidas as partículas finas [3]. Estas podem ser formadas a partir de gases precursores ou emitidas diretamente na atmosfera, principalmente por atividades industriais, a qual representa mais da metade de toda emissão deste poluente na atmosfera na Europa [4]. Portanto, a monitorização da qualidade do ar em zonas industriais é fundamental para se avaliar a exposição das populações, e para se proporem soluções que visem a melhoria da qualidade do ar nos locais afetados pelas emissões das atividades que se desenvolvem nessas zonas. O objetivo central deste trabalho foi caracterizar os níveis de partículas finas inaláveis (PM_{2,5}) na zona industrial de Mirandela-PT e sua envolvente, procurando-se avaliar a magnitude das suas concentrações, caracterizar as variações temporais e espaciais, inferir a contribuição relativa das principais fontes deste poluente e propor medidas de redução dos níveis de PM_{2,5}.

II. MATERIAS E MÉTODOS

A. Área de estudo

O presente estudo foi realizado na zona industrial de Mirandela e sua envolvente. Mirandela é uma cidade transmontana, sede de concelho, pertencente ao distrito de Bragança na região do Nordeste de Portugal, situando-se na margem esquerda do rio Tua perto da Ribeira de Carvalhais, numa zona agrícola forte. Ocupa uma área de 658,96 Km² onde se distribuem 25913 habitantes, com uma densidade populacional de 34,5 habitantes por km [5].

De acordo com a classificação de Köppen & Geiger o clima é classificado em clima temperado (Csa) com invernos longos e chuvosos (média de precipitação de 119 mm) e verões curtos e secos (média de precipitação de 20 mm) com média anual de precipitação é de 760 mm [6].

A Zona Industrial de Mirandela possui uma área de 33 hectares com 97 lotes distribuídos para os diferentes setores industriais e comerciais. Integrando aproximadamente 65 empresas de diferentes tipologias: indústrias de transformação de carnes e de produção de produtos

defumados, de materiais de construção civil, serralherias para a construção civil, lagares de azeite, carpintarias, serralharias e oficinas de reparação de automóveis. A ZI é circundada por plantações de oliveiras ou apenas gramíneas, e por vias de tráfego que dão acesso a cidade de Mirandela.

B. Instrumentação e Medições

Para a medição em contínuo das $PM_{2,5}$ foi utilizado um monitor ADR 1200S (*Thermo Electron Corporation*). Este equipamento assenta no princípio de operação de fotometria de dispersão de luz. A configuração ótica deste sistema de medição responde de forma ótima à concentração das partículas e para assegurar a medição de $PM_{2,5}$ foi acoplado uma cabeça de amostragem com um diâmetro de corte de $2,5 \mu m$. O monitor foi instalado na carroceria de um veículo automóvel de caixa aberta. Em cada ponto de medição, o veículo era estacionado e em seguida procedia-se à medição de $PM_{2,5}$ durante um período de 10 minutos. Ao longo do período de avaliação, foram realizados dois tipos de circuitos distintos, um com início no ponto 1 e término no ponto 9 e outro em sentido contrário.

C. Seleção e Caracterização dos pontos de Medição

Atendendo à dimensão e às principais características físicas da área de estudo, foi definida estrategicamente uma malha de medição com nove pontos, para captar as

diferentes fontes de emissões de material particulado com características distintas, localizados cinco pontos dentro do perímetro da Zona Industrial (1, 2, 3, 4, e 5) e quatro na sua envolvente próxima (6, 7, 8, e 9) como pode ser observado na Fig. 1. Juntamente com a análise visual dos pontos em relação a características físicas e possíveis fontes visuais, foi realizada a contagem de veículos em cada ponto durante todas as campanhas nos momentos das medições.

As campanhas de monitorização foram realizadas no período de 20 de abril a 01 de junho de 2018, em períodos diurnos entre as 08h e às 14h, em períodos vespertinos entre as 16h e às 19h e períodos noturnos entre as 21h e às 23h. Foram realizadas no total 11 campanhas de medição.

Dados meteorológicos (temperatura, precipitação, velocidade e direção do vento, radiação e humidade relativa) foram recolhidos por uma estação meteorológica instalada nas proximidades do local de estudo.



Fig 1. Área de estudo e distribuição dos pontos de medição.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A. Condições meteorológicas durante as campanhas de medição

A humidade relativa, pluviosidade, radiação e temperatura apresentaram variações entre campanhas de 34 a 90%, 0 a 0,31 mm, 72 a 353 W/m e 8 a 21°C, respectivamente. A velocidade do vento apresentou variação de 2,3 m/s a 0,3 m/s e uma média de 1,12 m/s. As direções prevalecentes do vento na área de estudo foram

noroestes e sudoestes, as velocidades com maior intensidade foram em leste.

B. Concentrações de $PM_{2,5}$ na área de estudo

Os níveis de $PM_{2,5}$ para toda a Zona Industrial e sua envolvente, ou seja, para todas as campanhas realizadas, apresentaram média de $8 \mu g/m^3$. Os valores limite legais de Portugal foram baseados nos VL da União Europeia, valores diários de $PM_{2,5}$ que não podem ser ultrapassados em $25 \mu g/m^3$ em um ano civil. A World Health Organization (WHO) sugere um valor diário de exposição também de $25 \mu g/m^3$. Embora a concentração média obtida para a zona

industrial e peri-industrial não tenha atingido os limiares de proteção da saúde humana, em alguns dos pontos registrou-se uma aproximação a esses limiares.

A Fig. 2 mostra na forma de *boxplot*, as variações das concentrações de $PM_{2,5}$ registadas ao longo dos períodos de monitorização das campanhas realizadas, em diferentes dias e períodos (diurno, vespertino e noturno).

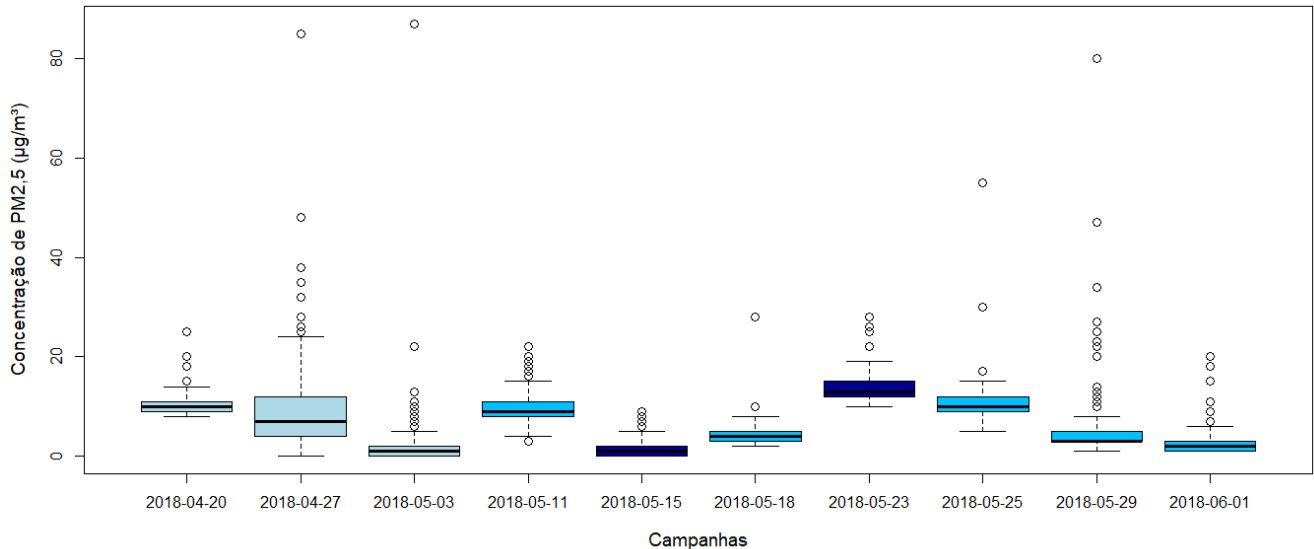


Fig 2. Distribuição interquartil e valores extremos das concentrações de $PM_{2,5}$ obtidas para cada uma das campanhas realizadas.

A concentração média mais baixa foi registada no dia 15 de maio, numa campanha de medição que foi realizada no período noturno, durante o qual as indústrias e empresas se encontravam fechadas e o tráfego automóvel local apresentava menor intensidade. Na campanha do dia 23 de maio, também realizada em período noturno, foram registadas concentrações mais elevadas de $PM_{2,5}$, com um valor médio de $13,97\mu\text{g}/\text{m}^3$. A diferença encontrada pode ser total ou parcialmente explicada pelas distintas condições de vento que caracterizaram os dois dias. De fato, a velocidade do vento é um fator importante na dispersão dos poluentes atmosféricos, sendo que em situações de calmaria ($v < 1 \text{ m/s}$) a dispersão dos poluentes é dificultada e as concentrações atmosféricas tendem a aumentar em função das emissões [7].

C. Concentração de $PM_{2,5}$ espacial na área de estudo

As médias de $PM_{2,5}$ registadas nos diferentes pontos de medição variaram entre $12,63\mu\text{g}/\text{m}^3$, no ponto 1, e $5,82\mu\text{g}/\text{m}^3$, no ponto 9. Os valores máximos também são identificados para estes mesmos pontos com uma variação de $87\mu\text{g}/\text{m}^3$, observados no ponto 1, e $17\mu\text{g}/\text{m}^3$, no ponto 9. As concentrações médias mais elevadas do poluente foram registadas no ponto 1 e no ponto 2. Pontos que se caracterizam por apresentar uma intensidade de tráfego rodoviário superior à registada nos outros pontos de medição. As emissões do escape dos automóveis a diesel contribuem substancialmente para o aumento do nível da fração fina de material particulado [8], dado que uma grande parte dos automóveis que circulam pela zona ainda não estão equipados com tecnologia de remoção de partículas. A

ausência de área verde em seu entorno contribui para acumulação de PM ao redor da zona e sua dispersão para a envolvente. Estudos já demonstraram o poder de remediação das plantas para a qualidade do ar [9, 10]. Os pontos 3, 4 e 5, localizados dentro da Zona Industrial, apresentaram concentrações menores do que os pontos anteriores. No ponto 3, localizado numa área afastada do centro da Zona Industrial, afastada das vias rodoviárias principais, com empresas comerciais ao seu redor (lojas de vestuário, artigos, etc.) e área com gramíneas na proximidade, apresentou sistematicamente valores mais baixos, sendo o valor médio de $7,16\mu\text{g}/\text{m}^3$. Relativamente aos pontos localizados na envolvente da ZI, com a exceção do ponto 7 caracterizaram-se por apresentar uma baixa oscilação de valores de concentração de $PM_{2,5}$, variando entre mínimos próximos de $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e máximos inferiores a $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, apresentadas na Fig. 3.

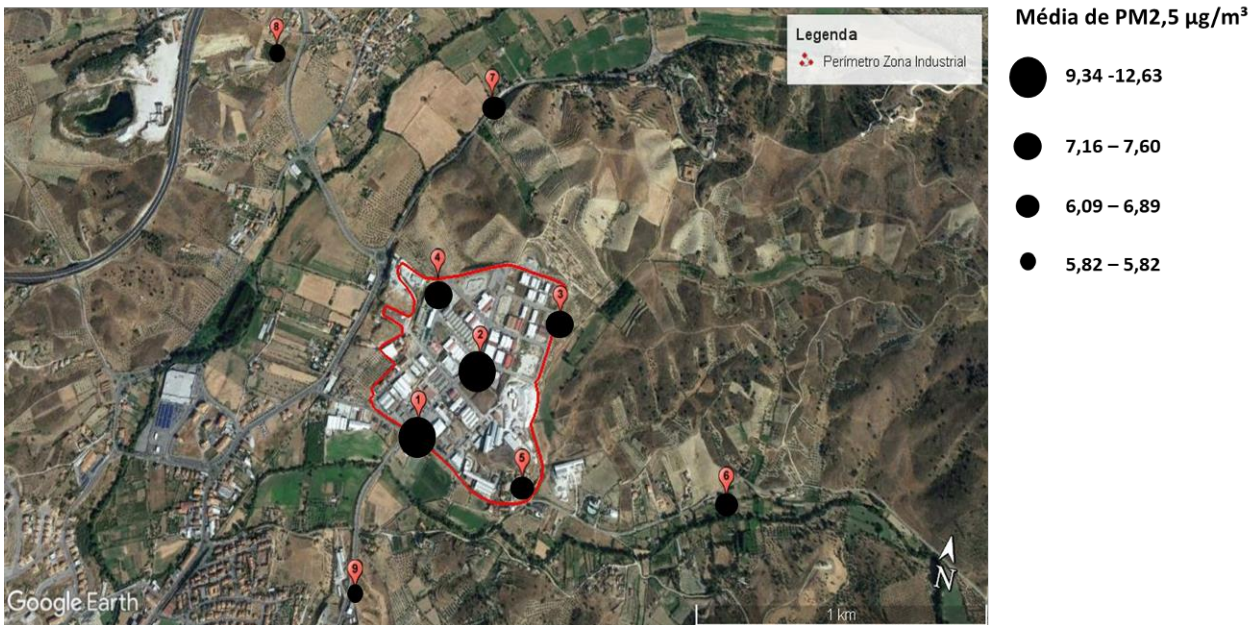


Fig 3. Padrão espacial das concentrações médias de PM_{2,5}, tendo por base os dados recolhidos em todas as campanhas realizadas.

No ponto 7, os níveis de PM_{2,5} exibiram uma variação mais acentuada, com valores extremos acima de 30µg/m a serem registados com alguma frequência. Este facto deve-se ao desenvolvimento de atividades agrícolas realizadas com trator, durante as medições. A proximidade às vias de tráfego pode também ter influenciado as concentrações desse local [11]. Observou-se que com o afastamento ao perímetro da ZI as concentrações passaram a diminuir proporcionalmente, pois as concentrações tendem a atenuar-se com o aumento da distância entre fonte de emissão e o receptor [12, 14].

D. Relação das partículas finas com as condições ambientais

O objetivo da análise foi observar uma relação das concentrações de PM_{2,5} com o número de veículos e com as variáveis meteorológicas selecionadas - temperatura, humidade, radiação, velocidade do vento e precipitação.

A matriz, em geral (Fig. 4), mostra que os níveis de partículas se correlacionaram moderadamente (em sentido positivo) com a precipitação e humidade relativa ($r = 12\%$ e $r = 29\%$). O efeito destas variáveis no material particulado depende de fatores como a intensidade da precipitação, tamanho da gota de chuva e tamanho da partícula [13]. De acordo com [15], as partículas grosseiras podem ser removidas da atmosfera, por um processo de deposição húmida, de forma mais eficiente do que as partículas finas.

A radiação apresentou uma fraca correlação negativa ($r = -13\%$). A velocidade do vento e temperatura tiveram fraca correlação positiva ($r = 15\%$ e $r = 19\%$), o vento tanto pode ser considerado dispersante como também transportador de partículas de um local para outro [12].

A maior correlação encontrada foi com a variável automóveis, para a qual se obteve uma forte correlação positiva ($r = 96\%$), confirmando o fato já referido

anteriormente, sobre a influência do tráfego rodoviário nos níveis de partículas finas.

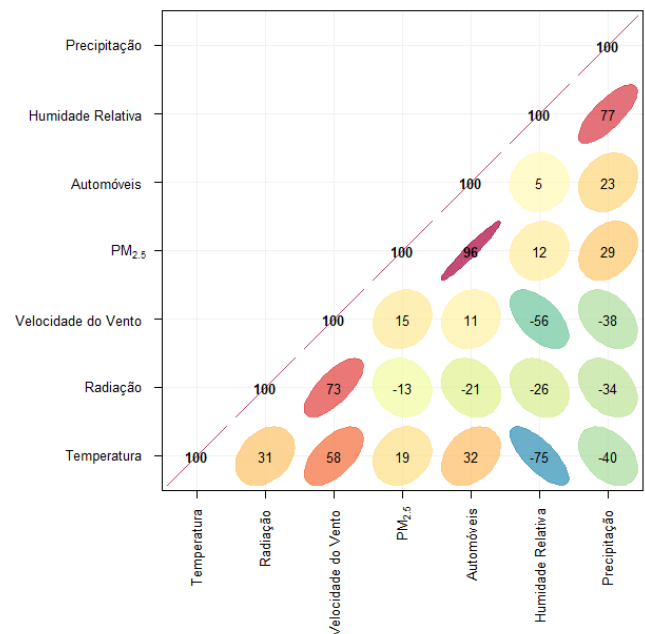


Fig 4. Matriz de correlação de Pearson entre a variável dependente (PM_{2,5}) e as variáveis independentes.

IV. CONCLUSÕES

O presente trabalho constitui um estudo piloto realizado na Zona Industrial de Mirandela, Portugal, com o objetivo de informar as autoridades e as populações locais relativamente à qualidade do ar. Apresentando uma visão geral da magnitude, assim como da distribuição temporal e espacial de PM_{2,5} em diferentes pontos localizados dentro e fora do perímetro da zona industrial. As medições realizadas na primavera mostraram concentrações significativamente altas, quando comparadas com outras Zonas Industriais de dimensões mais elevadas, para a mesma época do ano.

Os níveis obtidos pelo estudo não ultrapassaram os valores estabelecidos na legislação nacional e nas recomendações da WHO ($25\mu\text{g}/\text{m}^3$). No entanto, foi possível observar uma variabilidade espacial da concentração desse poluente ao longo do período de análise. Em alguns momentos pontuais das amostragens os níveis ultrapassavam 200% do limite para $\text{PM}_{2,5}$, coincidindo com a realização das atividades no momento da medição.

Em termos de variabilidade espacial dos níveis de $\text{PM}_{2,5}$, foi identificado um padrão de certa forma expectável, evidenciando uma prevalência de valores mais elevados dentro do perímetro da zona industrial em comparação com os da envolvente próxima. A principal razão dessa diferença foi atribuída à maior intensidade de tráfego automóvel que se faz sentir no interior da zona industrial. A influência do tráfego rodoviário também se fez sentir na evolução dos níveis de $\text{PM}_{2,5}$ ao longo do dia, tendo sido detectados níveis mais elevados nas horas de ponta.

V. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER), através do Programa POCTEP – Programa de Cooperação Transfronteiriça Portugal-Espanha 2014-2020), através do Projeto REHABIND (REhab-Ind-Revitazación y Rehabilitación Sostenible de Areas Industriales Transfronterizas Interconectadas y Eficientes (0399_REHAB_IND_2_E). Agradecem também Eng. Arsénio do Instituto Politécnico de Bragança pela colaboração na realização das medições.

VI. REFERÊNCIAS

[1] Fuzzi, S., Baltensperger, U., Carslaw, K., Decesari, S., Denier, H. (2015). Particulate matter, air quality and climate: lessons learned and future needs. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15, p. 8217-8299

[2] Alejandro G., Francisco G., Mariano, Marcos B. (2018). Smart eco-industrial parks: A circular economy implementation based on industrial metabolism. *Recursos, Conservação e Reciclagem*, 135, p. 58-69.

[3] Borrego, C., Techepele, O., Barros, N., Miranda, A. I. (2010). Impact of road traffic emissions on air quality of the Lisbon region. *Atmospheric Environment*, p.4683-4690.

[4] Saebo, A., Popek, R., Nawrot, B., Hanslin, A.H., Gawronska, H. Gawronski, S.W. (2012). Plant species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces. *Science of The Total Environment*, 427, p. 347-354.

[5] INE - Instituto Nacional de Estatística. (2014). Nuts 2013: the new territorial units for statistics. Disponível: https://www.ine.pt/xportal/xmain?Xpid=ine&xpgid=ine_publicacoes&publicacoespub_boui=230205992&publicacoesmodo=2&xlang=en.

[6] IPMA - Instituto Português do Mar e da Atmosfera. (2016). Disponível em: <https://bit.ly/2JpLqg1>.

[7] Carvalho W., et al. (2013). *Dispersão de poluentes na cidade de São José dos Campos*. INPE, p.1-6.

[8] Pant, P., et al. (2015). Characterization of ambient $\text{PM}_{2.5}$ at a pollution hotspot in New Delhi, India and

inference of sources. *Atmospheric Environment*, 109, p.178-189.

[9] McDonald, A.G., Bealey, W.J., Fowler, D., Dragosits, U., Skiba, U., R.I. (2007). Quantifying the effect of urban tree planting on concentrations and depositions of PM_{10} in two UK conurbations. *Atmospheric Environment*, 41, p. 8455-8467.

[10] Nowak, D.J., Rowntree, R.A., McPherson, G.E. (1994). Chicago's urban forest ecosystem: results of the Chicago Urban Forest Climate Project. *USDA General Tech. Rep.*, 186, p. 63-81.

[11] Krecl, P., Targino, A., Landi, T., Ketzler, M. (2018). Determination of black carbon, $\text{PM}_{2,5}$, particle number and NO_x emission factors from roadside measurements and their implications for emission inventory development. *Atmospheric Environment*, 186, p.229-240.

[12] Krecl, P., Targino, A., Gibson, M., Rodrigo, M., Santos, M., Corrêa, M. (2016). Hotspots of black carbon and $\text{pm}_{2.5}$ in an urban area and relationships to traffic characteristics. *Atmospheric Pollution*, 218, p.475 – 486.

[13] Cao, J.J., Zhu, C.S., Chow, J.C., Watson, J.G., Han, Y.M. (2009). Black carbon relationships with emissions and meteorology in Xi'an, China. *Atmospheric Research*, 94, p. 194-202.

[14] Ekebergh, J. (2014). Evaluating the infiltration of outdoor black carbon into residential indoor environments in Stockholm, Sweden. Relatório de projeto em ciência ambiental, *Department of Applied Environmental Science*.

[15] Feng, X., Wang, S. (2012). Influence of different weather events on concentrations of particulate matter with different sizes in Lanzhou, China. *J. Environmental Scientific*, 24, p. 665 – 674.

Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede – SFVCR, com adequação do Gerador Fotovoltaico aos parâmetros elétricos do Inversor e aos fatores de perdas.

1st Eng. Alcides Arruda JUNIOR
Prog. de Pós-graduação de Eng. De
Edificações e Ambiental - PPGEEA
Universidade Federal de Mato Grosso
Cuiabá-MT, Brasil
juninhox5@gmail.com

2nd Eng. Roberto Apolonio (Dr.)
Prog. de Pós-graduação de Eng. De
Edificações e Ambiental - PPGEEA
Universidade Federal de Mato Grosso
Cuiabá-MT, Brasil
r_apol@hotmail.com

3rd Eng. Ozlean de lima Dantas
Prog. de Pós-graduação de Eng. De
Edificações e Ambiental - PPGEEA
Universidade Federal de Mato Grosso
Cuiabá-MT, Brasil
ozlean.dantas@gmail.com

Abstract— O objetivo principal deste trabalho foi apresentar um procedimento passo a passo para dimensionamento de SFVCR, com base na adequação do Gerador fotovoltaico aos parâmetros elétricos do IFV levando em consideração os principais fatores que podem influenciar no desempenho do sistema. Dentre os principais fatores de perdas no sistema levantados foram: a variação de temperatura, sujidade, incompatibilidade, perda nos cabamentos, e eficiência dos equipamentos e dispositivos do sistema. Para a realização deste trabalho utilizou-se da metodologia de revisão sistemática da literatura para levantar o estado da arte dos procedimentos metodológicos para dimensionar SFVCR. A partir da literatura disponível, foram analisados diversos procedimentos dos quais foram extraídos as principais considerações e informações mais relevante e pertinentes a se considerar para realizar o dimensionamento do SFVCR, como equações, parâmetros e valores típicos de coeficientes, dentre outros. É apresentado uma síntese dessa análise por meio de procedimento em forma de exemplo prático, de dimensionamento de um SFVCR hipotético, visando a otimização, precisão e segurança e operação eficiente dos padrões nominais do SFV, sem comprometer a vida útil dos seus dispositivos.

Keywords — *Módulos Fotovoltaicos, Dimensionamento, Gerador Fotovoltaico, Inversor, Método*

I. INTRODUÇÃO

A geração distribuída no Brasil, vem aumentando a cada ano e participação dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede - SFVCR têm crescido vertiginosamente, dos 7.123 empreendimentos de usinas para geração de eletricidade em operação no país, 2.252 são por centrais geradoras solar fotovoltaica (UFV) totalizando cerca de 1,3 GW de potência instalada [1].

A quantidade de unidades consumidoras que contam com sistema de micro e mini geração distribuída do tipo UFV, também apresentou grande aumento, e já somam um total de 37.110 usinas por todo o país, totalizando cerca de 354.975kW de potência Instalada distribuídos principalmente entre consumidores das classes residencial e comercial [2].

Foi nesse contexto de crescimento e expansão dos SFVCR no país que se propõe a realização deste trabalho, tendo em vista, a falta normatizações que estabeleçam diretrizes e procedimentos para o correto dimensionamento desse tipo de sistema; buscou-se levantar com base na escassa literatura disponível levantar o estado da arte dos

métodos de dimensionamento a fim de angariar e concatenar o máximo de informações relevantes sobre os procedimentos, cálculos, equações e fatores influentes, que devem ser considerados durante o dimensionamento do SFV, especificamente no que tange a especificação do Gerador Fotovoltaico – GFV, e sua adequação aos parâmetros elétricos do Inversor para sistemas fotovoltaicos - IFV. Tendo em vista que a literatura disponível apresenta diversas propostas de dimensionamento nem todas sequencialmente comparáveis entre si, ou envolvendo a especificação criteriosa dos parâmetros dos componentes do sistema, isso pode conduzir a resultados divergentes. Essa não uniformidade nos procedimentos de dimensionamento afeta a qualidade, o desempenho, e também pode comprometer segurança do próprio sistema e seus componente quando dimensionando de forma inadequada. Diante disso este artigo traz uma síntese dos principais fatores influentes no desempenho do SFV, as etapas de dimensionamento do GFV, os critérios para sua adequação aos parâmetros do IFV, e ainda as equações e cálculos envolvidos. O dimensionamento de cabeamento, proteções e dispositivos de seccionamento não serão abordados neste trabalho..

II. REVISÃO DA LITERATURA

A. Energia solar fotovoltaica - ESFV

A energia solar fotovoltaica – ESFV, é a energia obtida através do efeito fotovoltaico, que é o fenômeno pelo qual é possível converter a energia luminosa em energia elétrica, de forma direta, por meio das células fotovoltaicas – CFV. O efeito fotovoltaico foi descoberto em 1887 pelo físico alemão Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894) e explicado em 1905 por Albert Einstein (1879-1955) [3].

B. Células Fotovoltaicas e Módulos fotovoltaicos

As células Fotovoltaicas – CFV, são os principais elementos do sistema fotovoltaico - SFV pois, são responsáveis pela conversão da energia solar em Energia Elétrica, elas constituem os módulos fotovoltaicos – MFV, e o conjunto destes dispositivos, constituem o gerador fotovoltaico – GFV, conforme ilustrado na Fig. 1. [4]. As características construtivas das CFV são descritas em detalhes por [5], e os modelos matemáticos que as representam e demais características intrínsecas por [3], [6], [7].

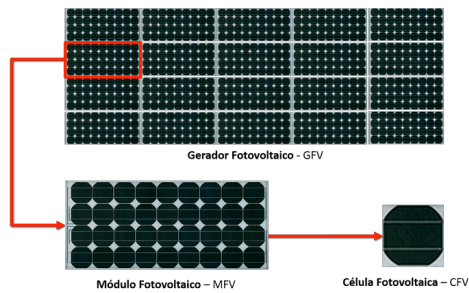


Fig. 1. Gerador fotovoltaico, módulo fotovoltaico e célula fotovoltaica.

C. Fatores de Perdas nas CFV

Existem dois tipos de fatores que podem comprometer o desempenho e gerar perdas de potência nas CFV, os fatores internos, intrínsecos ao material, relacionados diretamente à qualidade da célula e ao seu processo de fabricação (F_{Fab_Tol}) gerando perdas por incompatibilidade [8], e podem chegar até 3% segundo o [9]; e os externo que estão relacionados à:

a) Sombreamento em uma parte do painel ou em parte do conjunto de MFV (F_{Somb}), para determinação das perdas por sombreamento deve-se realizar estudo de sombreamento específico, que foge ao escopo deste trabalho;

b) Sujidade, Poeira, Restos de plantas, dejetos de aves, neve dentre outros (F_{Suj}): podem variar de 0 até 15% [8], [10], [11].

c) Mau contato ou ligações defeituosas em fios e conectores: podem gerar pontos quentes (*hotspot*), e perdas por aquecimento, podendo vir a danificar contatos ou a causar um incêndio elétrico no MFV. [6]

d) Variações de temperatura em diferentes partes dos componentes do conjunto de MFV (F_{Temp}): é o fator que tem a maior influência sobre desempenho do sistema, pode ser calculado conforme a equação (1) [9]:

$$F_{Temp} = 1 + [\gamma \times (T_C - T_{CSTC})] \quad (1)$$

Sendo;

γ : Coeficientes de temperatura potência [%/°C];

T_C : Temperatura de operação da célula, [°C];

T_{CSTC} : Temperatura da célula em STC, [°C].

e) Fluxo de ar inconsistente ou restrito; que impeça a troca térmica dos MFV com o meio;

f) Perdas nos cabamentos em corrente contínua - CC (F_{Cb_CC}): são provocadas por efeito joule devido a passagem de corrente elétrica no trecho de cabamento em corrente contínua, podendo chegar até 3% conforme [12];

Perdas nos cabamentos em corrente alternada CA (F_{Cb_CA}): são provocadas por efeito joule devido a passagem de corrente elétrica no trecho de cabamento, em corrente alternada, que conecta a saída do IFV ao quadro geral de distribuição, os valores típicos são de até 2% conforme [13] e de até 3 % conforme [3], [12].

D. Efeitos da temperatura ambiente e Irradiância solar

Durante o processo de conversão da radiação solar em energia elétrica, uma parcela significativa é transformada e dissipada na forma de calor, e a produção de

energia pelas células diminui à medida que temperatura se eleva e aumenta quando a temperatura diminui [8]. A irradiância solar e a temperatura ambiente têm forte influência sobre as células que compõem os MFV [14]. Abaixo na Fig. 2. é apresentado uma curva característica de um MFV de tecnologia c-Si, obtido a partir da folha de dados do equipamento [15]:

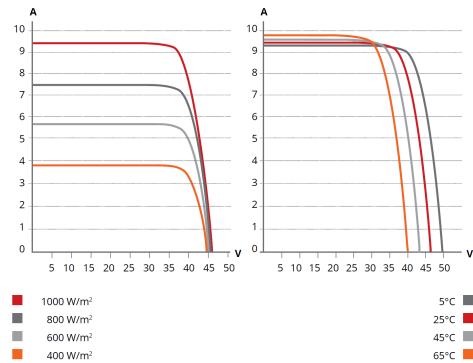


Fig. 2. Curva característica I-V

Nesta curva é possível observar a influência da irradiância e da temperatura sobre os parâmetros de tensão e corrente do módulo. Na curva à esquerda é possível verificar que a tensão dos módulos é pouco influenciada pela variação da irradiância, em contrapartida para a corrente a irradiância é fator essencial e limitante, pois impacta diretamente na intensidade de corrente de saída dos MFV, assim quanto maior a intensidade da irradiância maior é a corrente de saída do MFV, pois são diretamente proporcionais.

Na curva à direita é possível verificar a que a corrente de saída dos MFV é pouco influenciada pela variação da temperatura das células, apesar de existir variações suas proporções são muito menores do que aquela apresentada pela tensão de saída dos MFV, assim quanto maior a temperatura da células menor a tensão de saída do módulo e o contrário também se verifica, por são grandeza inversamente proporcionais.

Esse comportamento característico depende da tecnologia de fabricação, porém é muito semelhante para MFV fabricados com a tecnologia de silício cristalino c-Si [14].

E. Parâmetros elétricos dos MFV

Os parâmetros elétricos do MFV, constantes na folha de dados do equipamento (*datasheet*), são obtidos por ensaios de laboratório em condições específicas de teste. Existem duas condições típicas padrão para testes, a primeira é designada como *Standards Test Conditions - STC (condição padrão de teste)*, e a segunda é designada como *Nominal Operating Cell Temperature - NOCT (temperatura nominal de operação da célula)* são padrões internacionais estabelecido, para avaliação do desempenho de MFV [16].

Na condição STC são definidos três parâmetros, Massa de ar de 1,5AM, temperatura da célula (T_{CSTC}) de 25°C e irradiância solar (H_{REF}) de 1000W/m². Na condição NOCT são definidos quatro parâmetros, massa de ar de 1,5AM, temperatura ambiente (T_{ANOCT}) de 20°C, irradiância

solar (H_{NOCT}) de 800W/m^2 e velocidade do vento de 1m/s [16].

Dentre as várias informações constantes nas folhas de dados de MFV, os parâmetros mais importantes para utilização no dimensionamento de SFV são basicamente:

- **Tensão máxima do Sistema ($V_{SFV\text{máx}}$)**, é a tensão máxima a qual os MFV podem ser submetidos, quando conectados em série, sem comprometer a isolamento elétrica de seus componentes;
- **Tensão de circuito aberto ($V_{CO\text{ MFV}}$)**, é a máxima tensão que o MFV pode apresentar quando em circuito aberto (sem carga);
- **Tensão de ponto de máxima potência ($V_{PMP\text{ MFV}}$)**, é a tensão máxima que o MFV pode apresentar quando em operação em circuito fechado (com carga);
- **Corrente de curto circuito ($I_{SC\text{ MFV}}$)**, é a máxima corrente que pode ocorrer na saída do MFV quando seus terminais (positivo e negativo) são curto circuitados;
- **Corrente de ponto de máxima potência ($I_{PMP\text{ MFV}}$)**, é a máxima corrente que pode ocorrer na saída do MFV quando em operação em circuito fechado (com carga);
- **Potência máxima ou nominal ($P_{\text{máx MFV}}$)**, é a máxima potência de saída que o MFV pode fornecer em STC;
- **Eficiência (η_{MFV})**, mede a capacidade que o módulo possui por unidade de área em converter a energia solar incidente em energia elétrica nos terminais de saída do MFV.
- **Coefficientes de temperatura de tensão (α), corrente (β), e potência (γ)**: são coeficientes que apresentam valores percentuais ou absolutos de variação nos valores de saída da corrente, tensão e potência elétrica dos MFV, quando submetidos a variação da temperatura, seus os valores desses coeficientes variam em função da tecnologia da célula” [14].

NOTA: É importante ressaltar que a $V_{CO\text{ MFV}}$ sempre será maior que $V_{PMP\text{ MFV}}$, nas mesmas condições de temperatura da célula, pois $V_{CO\text{ MFV}}$ é obtido em circuito aberto, sem carga, sendo assim, não há queda de tensão na resistência interna das células, devido a passagem de corrente, essa análise é bastante relevante na hora de adequação do GFV aos parâmetros elétricos do IFV.

F. Temperaturas ambiente local (máxima e mínima)

A temperatura ambiente local é um dado climatológico local muito importante a se considerar durante o dimensionamento de um SFV pois, irá influenciar diretamente no ganho de temperatura pelas CFV, assim como a temperatura de operação da CFV afeta o seu desempenho, a temperatura ambiente pode intensificar ainda mais esse efeito [3]. Desse modo é imprescindível definir uma faixa temperatura mínima e máxima a qual as CFVs poderão ser submetidas durante seu funcionamento, e com isso estimar suas temperaturas mínima e máxima de operação para as condições críticas locais, informações que

serão fundamentais para os cálculos de correção dos parâmetros elétricos dos MFV.

Para definir quais as temperaturas ambiente máxima e mínima local, aconselha-se realizar uma análise da série histórica horária dos dados climatológicos locais, buscando as temperaturas máxima e mínima recorde para aquele local, durante o período de interesse, que corresponde ao período diurno quando há irradiação solar, pois, será nesse período que o GFV estará em operação, ou seja deve-se descartar aquelas temperaturas máximas e mínimas, ocorridas durante o período noturno.

G. Cálculo da Temperatura de operação da CFV

Pode-se estimar a temperatura de operação da célula com base na temperatura ambiente e irradiância incidente, através da através da equação (1) definida em [7]:

$$T_C = T_A + \frac{H}{H_{NOCT}} \times (T_{CNOCT} - T_{ANOCT}) \quad (2)$$

Sendo;

T_C : Temperatura de operação da célula [$^{\circ}\text{C}$];

T_A : Temperatura ambiente [$^{\circ}\text{C}$];

H : Irradiância incidente no plano dos MFV [W/m^2];

H_{NOCT} : Irradiância solar padrão em condições de temperatura nominal de operação da célula (NOCT) [W/m^2];

T_{NOCT} : temperatura nominal de operação da célula (NOCT) [$^{\circ}\text{C}$];

T_{ANOCT} : temperatura ambiente nas condições de temperatura nominal de operação da célula (NOCT) [$^{\circ}\text{C}$];

H. Correção dos parâmetros elétricos do MFV em função da temperatura da célula

Como os parâmetros elétricos dos MFV são definidos sob condições específicas, conforme já citadas, na prática aquelas condições não se verificam e o comportamento dos MFV podem divergir daqueles estabelecidos em STC ou NOCT, devido a isso deve-se corrigir os parâmetros elétricos dos MFV. Essa correção se dá com base nas temperaturas que as células poderão desenvolver sob dadas condições climatológicas locais em períodos críticos de frio e calor [6]. A temperatura da célula é o parâmetro que permite corrigir os valores de tensão e corrente dos módulos a partir de seus valores obtidos em STC, conforme as equações (2), (3), (4), conforme [6]:

$$V_{(TC)} = V_{STC} \times \left[1 + \frac{\alpha_{\%}}{100} \times (T_C - T_{CSTC}) \right] \quad (3)$$

$$I_{(TC)} = I_{STC} \times \left[1 + \frac{\beta_{\%}}{100} \times (T_C - T_{CSTC}) \right] \quad (4)$$

Sendo;

T_{CSTC} : Temperatura da célula em STC [$^{\circ}\text{C}$];

α : coeficiente de temperatura de tensão [$\%/^{\circ}\text{C}$];

β : coeficiente de temperatura de corrente [$\%/^{\circ}\text{C}$];

A potência máxima que um SFV é capaz de fornecer sobre um conjunto de condições climatológicas locais, pode ser calculado conforme a equação (5) adaptada de [10], [9]:

$$P_{\text{máxSFV}} = P_{\text{GFV}}^0 \times F_{\text{Fab,Tol}} \times F_{\text{Suj}} \times F_{\text{Temp}} \times \frac{H}{H_{\text{Ref}}} \times F_{\text{Cb,CC}} \times \eta_{\text{IFV}} \times F_{\text{Cb,CA}} \quad (5)$$

Sendo;

H_{ref} : é a irradiância de referência em STC [1000W/m²];

P_{GFV}^0 : é a potência nominal em STC do gerador [W];

η_{IFV} : Eficiência do IFV.

Quando definidas as temperaturas mínima e máxima da célula nas condições críticas de frio e calor, para o local de instalação do SFV, respectivamente, deve-se corrigir os parâmetros elétricos do MFV com base nessas temperaturas. O que se obtém são novos parâmetros (máximos e mínimos) aos quais os MFV poderão desenvolver durante sua operação, sob as condições climatológicas locais, e são esses parâmetros que devem ser utilizados no dimensionamento e adequação do GFV aos parâmetros elétricos do IFV, conforme ilustrado na Fig.3.

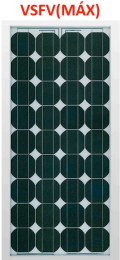
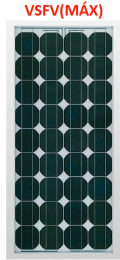
STC	Corrigidos por T_C em $T_A(\text{máxima})$ e $T_A(\text{mínima})$
<p>VSFV(MÁX)</p>  <p>Pmáx MFV (STC) VCO MFV (STC) VPMP MFV (STC)</p> <p>ISC MFV (STC) IPMP MFV (STC)</p>	<p>VSFV(MÁX)</p>  <p>Pmáx MFV (TMÍN) VCO MFV (TMÍN) VPMP MFV (TMÍN)</p> <p>Pmáx MFV (TMÁX) VCO MFV (TMÁX) VPMP MFV (TMÁX)</p> <p>ISC MFV (TMÁX) IPMP MFV (TMÁX)</p>

Fig. 3. Principais parâmetros elétricos do MFV.

I. Inversor para Sistemas Fotovoltaicos - IFV

Os Inversor para Sistemas Fotovoltaicos, específicos para conexão com a rede, são os elementos essenciais do sistema, pois são responsáveis pela conversão CC/CA da energia gerada pelo GFV, sincronização e injeção da corrente gerada pelo GFV na rede de distribuição de energia elétrica, e ainda pelo rastreamento do ponto de máxima potência – RPMP do GFV [5].

É recomendado adequar a potência do GFV às características elétricas do IFV, para garantir rendimento ótimo, operação segura, dentro dos padrões nominais do equipamento sem comprometer sua vida útil [17]. Para adequar a potência do GFV à potência do IFV, é usual calcular o Fator de dimensionamento de inversor – FDI, que é o fator de ajustamento entre potência máxima de entrada do IFV em Corrente Contínua e a potência nominal em STC do GFV [14], cujos valores recomendados na literatura estão entre 0,7 a 1,05. o cálculo do FDI pode ser realizado pela equação (6), [18]:

$$FDI = \frac{P_{\text{máxIFVCC}}}{P_{\text{GFV}}^0} \quad (6)$$

Sendo;

$P_{\text{máxIFVCC}}$: Potência máxima de entrada do IFV em Corrente Contínua [W];

A adequação do GFV aos parâmetros elétricos do IFV deve envolver a adequação da tensão do gerador dentro da

faixa mínima e máxima admissível na entrada do IFV, caso o IFV possua Sistema de RPMP, cabe ainda adequação da tensão de operação do GFV dentro da Faixa de operação de ponto de máxima potência do IFV, para garantir o máximo aproveitamento da energia produzida pelo GFV; a corrente de saída do GFV também deve ser adequada à corrente máxima de entrada CC do IFV, caso o sistema possua circuitos com cabeamento CC conectando o GFV ao IFV é recomendável que se considere também a queda tensão no trecho do cabeamento CC afim de melhor ajustar a tensão mínima de saída do GFV dentro da faixa de segurança e operação do IFV.

J. Parâmetros elétricos do IFV

Na Folha de dados do IFV, são apresentadas diversas informações sobre as características e parâmetros elétricos do equipamento, sendo os mais importantes para o dimensionamento do SFVCR apresentados a seguir, na Fig.4. [19]

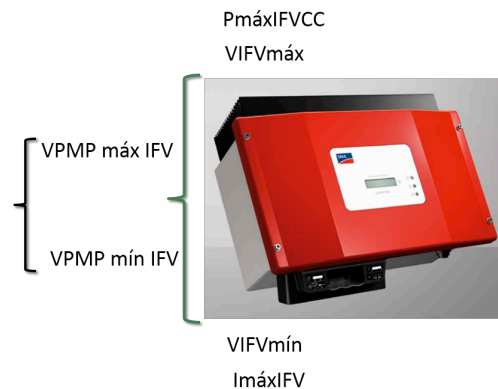


Fig. 4. Principais parâmetros do IFV.

- **Tensão de entrada máxima CC (VIFVmáx):** é a máxima tensão CC admissível na entrada do IFV;
- **Tensão de entrada mínima CC (VIFVmín):** é a mínima tensão CC admissível na entrada do IFV para iniciar o seu funcionamento;
- **Tensão de entrada máxima para o ponto de máxima potência (VPMP máx IFV):** é a tensão máxima CC admissível na entrada do IFV para operação do Sistema de RPMP;
- **Tensão de entrada mínima para o ponto de máxima potência (VPMP mín IFV):** é a tensão mínima CC admissível na entrada do IFV para operação do Sistema de RPMP;
- **Corrente máxima de entrada do IFV (ImáxIFV):** é a corrente máxima admissível na entrada CC do IFV;
- **Potência máxima de entrada do IFV em Corrente Contínua (PmáxIFVCC):** é a máxima potência CC admissível na entrada do IFV.

I. Metodologia

III. METODOLOGIA

A Metodologia de dimensionamento, apresentada neste trabalho foi composta de fragmentos extraídos dos trabalhos de diversos autores a saber: [3], [4], [5], [6], [9], [14], [17];

[20], [21], [22] e [23], cujas principais contribuições foram concatenados e organizadas em um único procedimento gerando um passo a passo de cálculos com equações e parâmetros importantes a serem considerados no dimensionamento de um SFVCR. Para exemplificar tal procedimento, será apresentado por meio de um exemplo hipotético, o dimensionamento de um sistema conforme ilustrado na Fig. 5.

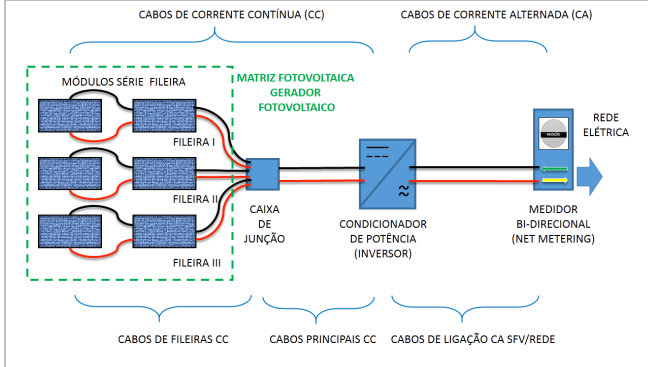


Fig. 5. - Diagrama de conexão dos componentes Sistema fotovoltaico conectado à rede.

A. Descrição do sistema

O SFVCR é composto por um GFV formado por uma matriz de MFV conectados em série formando fileiras, possuindo um total de 3 fileiras. Os Módulos em série são conectados por Cabos CC nas fileiras que são denominados cabos de fileira CC, as fileiras são conectadas em uma caixa de junção CC, para então serem conectadas a um IFV por meio de um par de Cabos CC denominados cabos principais CC, a entrada CC do IFV conta com Sistema RPMP. A conexão do inversor com a rede se dá por meio de um par de cabos CA denominados cabos de ligação CA. Deseja-se dimensionar o sistema de modo que a potência do GFV, esteja ajustada com a potência do IFV, realizando a adequação dos parâmetros elétricos do GFV aos do IFV de modo que este opere dentro da faixa de RPMP, estimando a potência máxima entregue a carga nos terminais de saída CA do IFV.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A. Dimensionamento do SFVCR:

1) Correção dos parâmetros do MFV em função das temperaturas máximas e mínimas locais.

- Realização de uma análise dos dados climatológicos locais, identificando as temperaturas máxima e mínima local, conforme critério do item F.;
- Seleção dos equipamentos a serem utilizados: MFV e IFV;
- Cálculo da temperatura de operação das células nas condições de temperaturas ambiente local máxima ($T_{Amáx}$) e mínima (T_{Amin}), conforme equação (2), calculando pelas Equações (7) e (8), [3], [4], [5], [6], [9], [14], [17]; [20], [22] e [23]:

$$T_{Cmáx} = T_{Amáx} + \frac{H}{H_{NOCT}} \times (T_{CNOCT} - T_{ANOCT}) \quad (7)$$

$$T_{Cmín} = T_{Amin} + \frac{H}{H_{NOCT}} \times (T_{CNOCT} - T_{ANOCT}) \quad (8)$$

- Correção dos parâmetros elétricos de tensão do MFV conforme equação (3), apenas para VCO MFV ($T_{Cmín}$), VPMP MFV ($T_{Cmín}$), VPMP MFV ($T_{Cmáx}$), corrigindo pelas equações (9), (10) e (11):

$$V_{CO\ MFV}(T_{Cmín}) = V_{CO\ MFV} \times \left[1 + \frac{\alpha\%}{100} \times (T_{Cmín} - T_{CSTC}) \right] \quad (9)$$

$$V_{PMP\ MFV}(T_{Cmín}) = V_{PMP\ MFV} \times \left[1 + \frac{\alpha\%}{100} \times (T_{Cmín} - T_{CSTC}) \right] \quad (10)$$

$$V_{PMP\ MFV}(T_{Cmáx}) = V_{PMP\ MFV} \times \left[1 + \frac{\alpha\%}{100} \times (T_{Cmáx} - T_{CSTC}) \right] \quad (11)$$

- Correção do parâmetro de corrente elétrica do MFV conforme equação (4), apenas para $I_{SC\ MFV}(T_{Cmáx})$, $I_{PMP\ MFV}(T_{Cmáx})$, corrigindo pelas equações (12) e (13):

$$I_{SC\ MFV}(T_{Cmáx}) = I_{SC\ MFV} \times \left[1 + \frac{\beta\%}{100} \times (T_{Cmáx} - T_{CSTC}) \right] \quad (12)$$

$$I_{PMP\ MFV}(T_{Cmáx}) = I_{PMP\ MFV} \times \left[1 + \frac{\beta\%}{100} \times (T_{Cmáx} - T_{CSTC}) \right] \quad (13)$$

2) Determinação do número máximo e mínimo de módulos em série por fileira, e determinação do número máximo de fileiras em paralelo na entrada do IFV

a) Cálculo do número máximo de módulos em série por fileira ($N_{MFV\ máx\ Série}$) em função da tensão máxima do Sistema ($V_{SFV\ máx}$), calculando pela equação (14), [3]:

$$N_{MFV\ Máx\ série} = \frac{V_{SFV\ máx}}{V_{CO\ MFV}(T_{Cmín})} \quad (14)$$

b) Cálculo do número máximo de módulos em série por fileira ($N_{MFV\ máx\ Série}$) em função da tensão de entrada máxima CC do IFV ($V_{IFV\ máx}$), calculando pela equação (15), [3], [4], [5], [6], [9], [22]:

$$N_{MFV\ Máx\ série} = \frac{V_{IFV\ máx}}{V_{CO\ MFV}(T_{Cmín})} \quad (15)$$

c) Cálculo do número máximo de módulos em série por fileira, em função de ($V_{PMP\ máx\ IFV}$), calculando pela equação (16):

$$N_{MFV\ Máx\ série} = \frac{V_{PMP\ máx\ IFV}}{V_{PMP\ MFV}(T_{Cmín})} \quad (16)$$

d) Cálculo do número mínimo de módulos em série por fileira, em função de ($V_{IFV\ mín}$), calculando pela equação (17), [9]:

$$N_{MFV\ Mín\ série} = \frac{V_{IFV\ mín}}{V_{PMP\ MFV}(T_{Cmáx}) \times F_{Cb\ CC}} \times FS \quad (17)$$

*FS: Fator de segurança de 1,1 [9].

e) Cálculo do número mínimo de módulos em série por fileira, em função de (**VPMP Mín IFV**), calculando pela equação (18), [9]:

$$N_{MFV\text{mín}_série} = \frac{V_{PMP\text{mín IFV}}}{V_{PMP\text{MFV}(T_{Cmáx})} \times F_{Cb_{CC}}} \quad (18)$$

f) Cálculo do número máximo de fileiras em paralelo em função de (**ImáxIFV**), calculando pela equação (19) devendo obedecer ao critério da equação (20), [6]:

$$N_{\text{maxfil}} = \left(\frac{I_{\text{maxIFV}}}{I_{PMP\text{MFV}(T_{\text{máx}})} \times 1,25} \right) \quad (19)$$

$$N_{\text{maxfil}} \times I_{PMP\text{MFV}(T_{\text{máx}})} \times 1,25 \leq I_{\text{maxIFV}} \quad (20)$$

*O fator 1,25 é um fator utilizado caso ocorram irradiancias acima de H_{Ref} , conforme [6]

g) Determinação do número de MFV por fileira, deve obedecer aos critérios das equações (21), (22), (23), (24), (25), (26), [6]:

$$N_{MFV\text{max}_série} \times V_{CO\text{MFV}(T_{Cmín})} \leq V_{SFVMáx} \quad (21)$$

$$N_{MFV\text{max}_série} \times V_{CO\text{MFV}(T_{Cmín})} \leq V_{IFV\text{máx}} \quad (22)$$

$$N_{MFV\text{max}_série} \times V_{PMP\text{MFV}(T_{Cmín})} \leq V_{PMP\text{máx IFV}} \quad (23)$$

$$N_{MFV\text{mín}_série} \times V_{PMP\text{MFV}(T_{Cmáx})} \times F_{Cb_{CC}} \geq V_{PMP\text{mín IFV}} \quad (24)$$

$$\frac{N_{MFV\text{mín}_série} \times V_{PMP\text{MFV}(T_{Cmáx})} \times F_{Cb_{CC}}}{FS} \geq V_{IFV\text{mín}} \quad (25)$$

3) Adequação dos parâmetros do GFV ao IFV

A adequação do GFV aos parâmetros elétricos do IFV se inicia realizando a adequação da potência do GFV à potência de entrada do IFV, em seguida realiza-se a adequação à tensão do GFV à tensão do IFV, primeiramente em função dos limites de segurança para operação do IFV, posteriormente à faixa de operação do sistema de RPMP do IFV. Como segue:

a) Adequação da GFV em função de (**PmáxIFV_{CC}**) calculando pela equação (6) Transcrita abaixo, e deve obedecer ao critério da equação (24):

$$FDI = \frac{P_{\text{máxIFV}_{CC}}}{P_{GFV}^0} \quad (6)$$

$$0,7 \leq FDI \leq 1,05 \quad (24)$$

b) Adequação da tensão GFV aos parâmetros de tensão do IFV, deve obedecer aos critério:

b.1) Adequação à faixa de Segurança para operação do IFV: o número de MFV conectados em série que garantem a operação segura dentro dos limites de segurança do IFV, de forma a não ultrapassar **VIFVmáx** e nem ficar abaixo da tensão mínima **VIFVmín**, deve ser tal que os critérios das equações (22) e (25) sejam verificados de modo a respeitar o critério da equação (21);

b.2) Adequação à faixa de operação do sistema de RPMP do IFV: O número de MFV conectados em série de modo a garantir a operação do IFV dentro da faixa de operação do sistema de RPMP, de forma a não ultrapassar

VPMP máx IFV e nem ficar abaixo **VPMP Mín IFV**, deve ser tal que os critérios das equações (23) e (24) sejam verificados de modo a respeitar o critério da equação (21);

c) O número de fileiras em paralelo conectadas na entrada CC do IFV, de modo a garantir, operação segura do do IFV, sem ocorrência de danos aos componentes dos circuitos internos do IFV, deve ser tal que o critério da equação (19) seja verificado.

4) Cálculo da potência máxima que um SFV, pode fornecer na saída a Rede de distribuição ou a uma carga.

Pode ser obtida conculando-se a equação (5), transcrita a baixo:

$$P_{\text{máxSFV}} = P_{GFV}^0 \times F_{Fab_{Tot}} \times F_{Suj} \times F_{Temp} \times \frac{H}{H_{Ref}} \times F_{Cb_{CC}} \times \eta_{IFV} \times F_{Cb_{CA}} \quad (5)$$

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As equações utilizadas no procedimento metodológico aqui apresentado, são parâmetros que podem trazer maior precisão ao dimensionamento de SFVCR, pois são embasados em considerações criteriosas que levam em consideração uma gama de fatores que podem, e vão influenciar de maneira direta e indireta o desempenho dos SFVCR. Fatores estes pouco conhecidos ou divulgados, alguns autores analisados nem mesmo consideram os fatores como sujidade, ou perdas no cabeamento para adequar o GFV aos parâmetros elétricos do IFV. Já outros, tratam da adequação e o ajustamento da potência do GFV à do inversor, apenas calculando o FDI como suficiente para operação ótima do sistema. O que se observou neste trabalho é que no que tange a questão de dimensionamento, existem muitos fatores influente e quanto mais criteriosas forem as considerações no que tange ao levantamento desse fatores para o dimensionamento mais preciso se torna o dimensionamento e a estimacão da geracão se torna-se mais exata. Existem muitos outros fatores a serem pesquisados analisados para gerar coeficientes que possam se utilizados para aumentar ainda mais a precisão no estudo de dimenisoamento de SFVCR. Com esse trabalho espera-se ter avançado, contribuindo de forma impar para a disseminacão de conhecimento, auxiliando profissionais, que estão em busca de aumentar seus conhecimentos sobre dimensionamento de Sistemas fotovoltaicos conectados a rede.

AGRADECIMENTOS

À FAPEMAT/CAPES, pelo auxílio financeiro, ao Programa de Pós-Graduacão de Engenharia de Edificacões e Ambiental PPGEEA, pela oportunidade em cursar o Mestrado de Engenharia de Edificacões e Ambiental, e à Universidade Federal de Mato Grosso, pela infraestrutura disponibilizada para realizacão deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, “Banco de Informações de Geração: Capacidade de Geração do Brasil,” ANEEL, 03 09 2018. [Online]. Available: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. [Acesso em 03 09 2018].
- [2] ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, “Geração Distribuída: unidades consumidoras com geração distribuída com Tipo de Geração: UFV,” 03 09 2018b. [Online]. Available: http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/gd_fonte_detalhe.asp?Tipo=12.
- [3] F. A. d. S. Pereira e M. Â. S. Oliveira, Curso técnico instalador de energia solar fotovoltaica, 1ª ed., E. t. Publindústria, Ed., Porto: Publindústria, Edições técnicas, 2011.
- [4] M. G. Villalva e J. R. Gazoli, Energia solar fotovoltaica: Conceitos e aplicações. Sistemas Isolados e conectados à rede., São Paulo: Editora Érica, 2012, p. 224.
- [5] D. M. Apolônio, Energia solar fotovoltaica conectada à rede de energia elétrica em Cuiabá: Estudo De Caso., vol. 1, 1, Ed., Cuiabá: UFMT, 2014, p. 149.
- [6] K. Mertens, Photovoltaics Fundamental, technology an practice, First Edition ed., Munich: John Wiley & Sons Ltd, 2014, p. 297.
- [7] S. A. Kalogirou, Solar Energy Engineering: Processes and Systems, 2nd ed., vol. 1, Oxford: Elsevier, 2014, p. 815.
- [8] J. Balfour, M. Shaw e N. B. Nash, Introdução ao Projeto de Sistemas Fotovoltaicos, 1 ed., vol. 1, Rio de Janeiro: LTC, 2016..
- [9] C. E. C. CEC, Grid-Connected Solar PV Systems: No Battery storage, Design Guidelines for Accredited installers, vol. 1, Melbourne: CEC, 2013, p. 18.
- [10] California Energy Commission, A guide to photovoltaic (PV) system design and installation, California: California Energy Commission, 2001, p. 40
- [11] B. Mondoc e F. Pop, “Factor influencing the performance of a photovoltaic power plant,” em *3rd International Conference on Modern Power Systems MPS*, Cluj-Napoca, 2010.
- [12] I. E. A. IEC, International Standard IEC 60364:2005 Low-voltage electrical installations – Part 1: Fundamental principles, assessment of general characteristics, definitions, Fifth edition ed., Paris: IEC, 2005, p. 93.
- [13] A. B. N. T. ABNT, ABNT NBR 5410:2004 - Instalações elétricas de baixa tensão, Rio de Janeiro: ABNT, 2004, p. 217.
- [14] Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL; Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito - CRESESB, Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos, 4ª ed., GTEs, Ed., Rio de Janeiro: CRESESB / CEPEL, 2014, p. 530.
- [15] Canadian Solar, “Site da Canadian Solar,” Agosto 2016. [Online]. Available: https://www.canadiansolar.com/downloads/datasheets/v5.5/Canadian_Solar-Datasheet-MaxPower-CS6U-M-1500V-v5.52en.pdf. [Acesso em 03 09 2018].
- [16] International Electrotechnical Commission - IEC, *International Standard IEC 61215: Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval*, Geneva: IEC, 2005, p. 37.
- [17] R. Zilles, W. N. Macêdo, M. A. B. Galhardo e S. H. F. d. Oliveira, Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, São Paulo: Oficina de Textos, 2012, p. 208.
- [18] W. N. Macedo, Análise do fator de dimensionamento do inversor aplicado a sistemas fotovoltaicos conectados a rede, São Paulo: USP, 2006, p. 201
- [19] SMA Solar Technology AG., *Operating Manual: SUNNY BOY 1300TL / 1600TL / 2100TL*, vol. 1, Niestetal: SMA, 2014, p. 58.
- [20] A. P. Puche, Otimização de produção de energia elétrica em parques fotovoltaicos Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energias), vol. 1, Vila Real: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 2016, p. 112
- [21] D. L. Marinowski, I. T. Salamoni e R. Rütther, “Pré-dimensionamento de sistema solar fotovoltaico: estudo de caso do edifício sede do crea-sc,” em *I conferência latino-americana de construção sustentável*, São Paulo, 2004.
- [22] BlueSol, Os sistemas de energia solar fotovoltaica: Livro digital de introdução aos sistemas solares, Ribeirão Preto: BlueSol, 2010, p. 114
- [23] C. S. d. S. CSS, Guia de energia solar fotovoltaica: Aplicação nas micro e pequenas empresas, J. V. S. Júnior, Ed., Cuiabá: CSS, 2016, p. 19.,.

Desenvolvimento e aplicação de sistema de baixo custo na avaliação de parâmetros de QAI

(1) Matheus Prestes

Mestrado em Tecnologia Ambiental
Instituto Politécnico de Bragança
Bragança, Portugal
matheusdeop@gmail.com

(4) Rafaela Alves

Mestrado em Tecnologia Ambiental
Instituto Politécnico de Bragança
Bragança, Portugal
matheusdeop@gmail.com

(2) Manuel Feliciano

Centro de Investigação de Montanha
Instituto Politécnico de Bragança
Bragança, Portugal
msabenca@ipb.pt

(5) Getúlio Igrejas

Departamento de Eletrotecnia
Instituto Politécnico de Bragança
Bragança, Portugal
igrejas@ipb.pt

(3) Laércio Frare

Departamento de Ciências Biológicas e Ambientais
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Medianeira, Brasil
laercio@utfpr.edu.br

Resumo—A associação das características físicas, químicas e biológicas observadas nas atmosferas interiores e a integridade física dos ocupantes têm-se tornado um objeto de estudo bastante comum nas últimas décadas, de forma a evidenciar relações significativas entre estes aspetos, com especial ênfase para a os efeitos da fração respirável do material particulado (PM_{2,5}) e a saúde humana. Uma compreensão sistemática do assunto envolve o estudo de fenómenos esporádicos e sazonais, o que implica a necessidade de escalas temporais e espaciais de monitorização dispendiosas. Contudo, estas dificuldades promovem a expansão de dispositivos com custos reduzidos (*low-cost*) e com dimensões significativamente inferiores. Este trabalho teve por objetivo a construção de um equipamento de medição simples, eficiente e barata de parâmetros específicos de QAI. O protótipo desenvolvido incorpora sensores que quantificam a temperatura, a humidade relativa, a concentração de dióxido de carbono e as concentrações de PM_{2,5} e PM₁₀ e a sua fiabilidade foi aferida através de estudos de intercomparação recorrendo a outros equipamentos de elevada precisão e exatidão. Nesta avaliação foram conduzidos 4 ensaios num espaço laboratorial do Instituto Politécnico de Bragança. Cada ensaio teve uma duração de 24 horas e os registos foram obtidos com uma frequência de 1 minuto. Análises de correlação com estimativas do Índice de Concordância de Willmott (d), do Coeficiente de Correlação de Pearson (r) e do Coeficiente de Determinação (R²) mostram uma elevada correlação entre as concentrações de material particulado analisadas (PM_{2,5}), onde $d = 0,918$, $r = 0,943$ e $R = 0,889$ para a situação de maior distanciamento entre os dados e $d = 0,983$, $r = 0,994$ e $R = 0,972$ para a situação de maior proximidade. Em relação às concentrações de dióxido de carbono foi verificada uma correlação muito forte ($> 0,9$) para todas análises estatísticas conduzidas, e para a temperatura e humidade relativa, apesar das correlações não apresentarem valores elevados em todas as análises, o desvio entre equipamentos não foi superior a 1,6°C para temperatura e 5,9% para humidade relativa. No global os resultados sugerem a aplicabilidade do equipamento desenvolvido na avaliação dos parâmetros estudados na qualidade do ar interior.

Palavras-chave—atmosferas interiores, *low-cost*, poluentes, monitorização, material particulado.

I. INTRODUÇÃO

Além da simples conceção da Qualidade do Ar Interior (QAI) como a concentração de poluentes observada numa atmosfera interior, num sentido mais amplo, esta área de estudo compreende ainda fatores climáticos e culturais destes ambientes [1]. A temática apresenta um crescimento

substantial ao longo das últimas 4 décadas quanto ao conhecimento de poluentes e à nocividade destes, e, ainda, em relação ao número de manuais elaborados e de diplomas normativos e legais existentes [2].

A composição química e biológica dos poluentes encontrados em ambientes interiores é reflexo de diversos fatores, como fontes de poluição, atividades de limpeza, combustível utilizado em sistemas de aquecimento e fogões, além de outras características, como temperatura, humidade relativa e ventilação observados nesses espaços [3][4]. De entre os vários poluentes que apresentam elevada nocividade na saúde dos ocupantes, a fração fina de material particulado (PM_{2,5}) surge como um dos mais relevantes [4][5].

O material particulado pode ser definido como uma mistura complexa e heterogénea de partículas sólidas extremamente pequenas ou gotículas de líquidos, a variar de poucos nanómetros a micrómetros [6], e que por conta desta heterogeneidade deve então ser classificado de acordo com alguma de suas características, sejam estas físicas, químicas ou biológicas. A classificação mais usual leva em consideração o diâmetro aerodinâmico equivalente das partículas, de modo a adotar intervalos que melhor atendam o objetivo dos estudos, sendo na área da saúde os intervalos inferiores a 10µm os de maior relevância, também referida por fracção inalável [7].

É então de grande importância o estudo das concentrações do poluente, dada a elevada correlação encontrada entre estas e os problemas de saúde observados nos ocupantes [8][9]. As doenças que acometem o sistema respiratório e, inclusive, o cancro de pulmão apresentam, há mais de duas décadas, indícios de dependência dos níveis de poluentes observados no ambiente [10], tendo ocorrido em 2013 a confirmação destes indícios [11].

Existem, no entanto, dificuldades associadas à monitorização das concentrações de poluentes e parâmetros climáticos nestes ambientes interiores, sejam estas técnicas ou financeiras. O número de equipamentos a serem utilizados, as elevadas volumetrias dos equipamentos, a complexidade na operação e os custos elevados associados a aquisição são fatores que limitam os estudos de QAI. A evolução tecnológica ocorrida nos últimos anos contribuiu significativamente para a simplificação deste processo, com o desenvolvimento de métodos de análise em tempo real [12]. Os avanços possibilitaram ainda a ascensão de um outro nicho de equipamentos, aqueles conhecidos como *low-cost*, que ganham espaço pelos custos e dimensões

significativamente inferiores, além da possibilidade de construção de sistemas que atendam às necessidades individuais dos utilizadores [13].

A realização deste trabalho teve como objetivo a utilização de componentes de baixo custo no desenvolvimento de um equipamento capaz de obter as concentrações de $PM_{2.5}$, PM_{10} , CO_2 , a temperatura e a humidade relativa em ambientes interiores, bem como a aplicação deste equipamento e a posterior realização de análises estatísticas de intercomparação dos dados obtidos por este e equipamentos de elevada precisão e exatidão disponíveis comercialmente.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

A compreensão do sistema construído é facilitada pela observação da Fig. 1, que engloba os devidos componentes utilizados de acordo com sua função básica. O bloco de deteção é constituído pelo sensor DHT11, responsável pela aquisição de dados de temperatura e humidade relativa, pelo sensor K30 para as concentrações de dióxido de carbono e os sensores SDS011 e SEN0177 para as concentrações de $PM_{2.5}$ e PM_{10} .

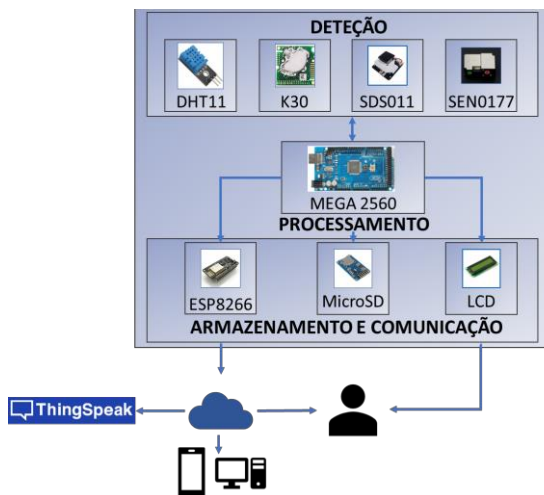


Fig. 1. Arquitetura do sistema construído

O bloco de processamento, responsável pela aquisição das informações do bloco de deteção, processamento dos sinais digitais e envio dos dados integra a plataforma de prototipagem rápida Arduino Mega 2560. Uma vez que os dados estão prontos para serem disponibilizados para o usuário, são então encaminhados para o bloco de armazenamento e comunicação, que conta com três componentes com funções distintas. O módulo ESP8266 realiza o envio das informações para a nuvem, através de uma conexão à rede sem fios e da plataforma ThingSpeak, de modo a possibilitar o acesso remoto à informação a partir de qualquer terminal conectado à internet, bem como o armazenamento destas informações na plataforma. O módulo micro SD realiza o armazenamento local, quer seja pela segurança das informações, quer seja pela indisponibilidade de uma rede sem fios. O display LCD apresenta os dados obtidos instantaneamente ao usuário, sem a necessidade de recorrer ao auxílio de qualquer outro dispositivo.

A verificação da robustez e da fiabilidade do equipamento foi realizada através de aplicações práticas e da posterior intercomparação da informação recolhida pelo sistema construído e por outros equipamentos de elevada

precisão e exatidão, tendo sido utilizada a sonda IAQ610 (GrayWolf Sensing Solutions) para os parâmetros climáticos e as concentrações de dióxido de carbono e o equipamento ADR-1200S (Thermo Scientific) para as concentrações de $PM_{2.5}$. A disposição dos equipamentos e do sistema durante as aplicações práticas pode ser observada na Fig. 2.



Fig. 2. Disposição dos equipamentos e do sistema no ambiente de estudo

Os ensaios foram realizados num espaço laboratorial da Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Bragança, tendo atualmente como principal função o armazenamento de equipamentos e materiais. Foram realizados quatro ensaios com duração de 24 horas cada um e uma resolução temporal de um minuto entre amostragens.

Com o intuito de proporcionar a aplicação do sistema numa gama vasta de concentração de $PM_{2.5}$ foram acionadas fontes de poluição que envolveram a combustão de tabaco, seja ele na forma de cigarros comerciais (ensaios 1 e 2) ou na utilização de cachimbo de água (ensaios 3 e 4). A abertura da porta (ensaios 2 e 3) também foi utilizada como agente de alteração proposital das condições da QAI observada para o laboratório, que atuou como fator redutor para as concentrações de dióxido de carbono e de $PM_{2.5}$.

Uma vez concluídos os ensaios, procedeu-se então à análise dos dados obtidos pelo sistema e pelos equipamentos equivalentes. Utilizou-se de três parâmetros estatísticos para a verificação: Índice de Concordância de Willmott (d), Coeficiente de Correlação de Pearson (r) e Coeficiente de Determinação (R).

III. RESULTADOS

A. Avaliação e intercomparação das concentrações de $PM_{2.5}$

A Fig. 3 apresenta a variação das concentrações médias horárias de $PM_{2.5}$ registadas pelos dois sensores integrados no protótipo e pelo monitor ADR-1200S, para os 4 ensaios realizados. A escala de tempo do eixo dos xx da figura corresponde às horas decorridas de ensaio.

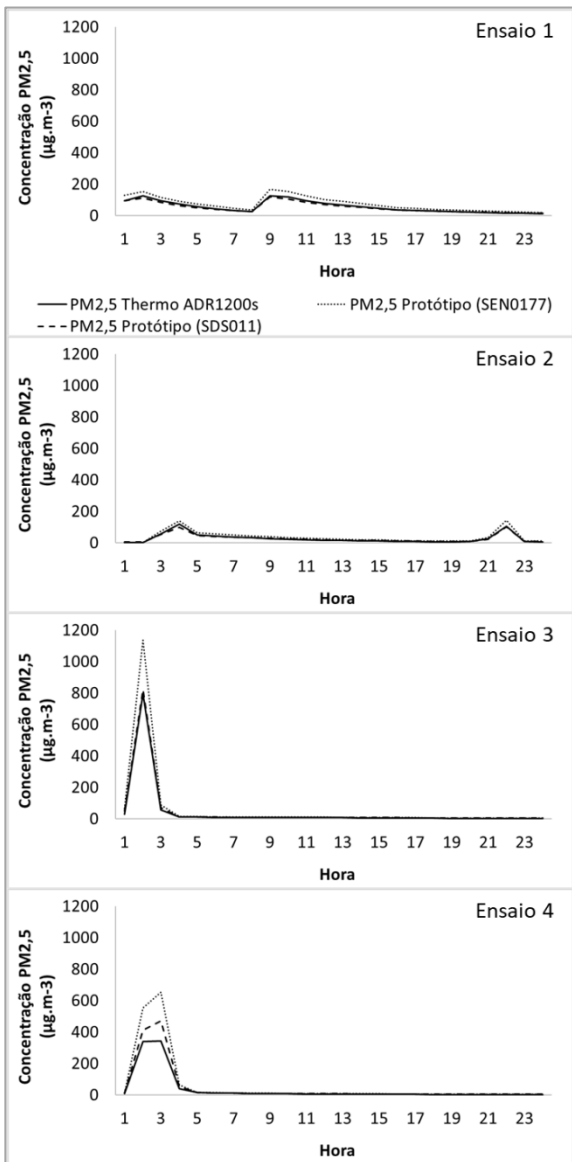


Fig. 3. Evolução temporal das concentrações médias de PM_{2,5} obtidas pelo sensor do protótipo e pelo monitor ADR1200S.

Numa primeira análise, podemos constatar que foram criadas atmosferas interiores com uma ampla gama de concentrações de PM_{2,5}, com uma dinâmica de variação distinta ao longo do tempo e que, de facto, as fontes de poluição causaram aumentos substanciais nos níveis de PM_{2,5}, em todos os ensaios e particularmente nos ensaios 3 e 4, nos quais se recorreu ao cachimbo de água como fonte de poluição. Do mesmo modo, a abertura da porta para assegurar taxas de ventilação mais elevadas, está igualmente bem ilustrada na figura, dado que os ensaios que contaram com esta alteração voluntária (2 e 3) apresentaram os maiores valores de renovações por hora (RPH) e consequentemente as maiores taxas de redução das concentrações de PM_{2,5}.

A qualidade dos valores fornecidos pelo protótipo foi avaliada com base nos parâmetros estatísticos referidos anteriormente e os resultados encontrados para estes estão apresentados na Tabela I. Em geral, esses parâmetros mostram o bom comportamento do protótipo para a medição de material particulado fino.

TABELA I. PARÂMETROS ESTATÍSTICOS USADOS NA AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO PROTÓTIPO REFERENTE À MEDIÇÃO DE PM_{2,5}

Ensaio	Sensor	r	d	R
1	SDS011	0,979	0,978	0,940
	SEN0177	0,978	0,940	0,939
2	SDS011	0,975	0,983	0,952
	SEN0177	0,978	0,964	0,956
3	SDS011	0,947	0,968	0,898
	SEN0177	0,943	0,926	0,889
4	SDS011	0,994	0,980	0,972
	SEN0177	0,984	0,918	0,968

Os coeficientes de correlação de Pearson encontrados para os ensaios realizados apresentaram variação entre 0,943 (ensaio 3, sensor SEN0177) a 0,994 (ensaio 4, sensor SDS011). Para o índice de concordância de Willmott a oscilação foi entre 0,918 (ensaio 4, sensor SEN0177) e 0,983 (ensaio 2, sensor SDS011), o que indicia uma correlação muito forte entre os equipamentos, mesmo nas análises de menor proximidade ($r > 0,9$).

O coeficiente de determinação apresentou uma variabilidade entre 0,889 (ensaio 3, sensor SEN0177) e 0,972 (ensaio 4, sensor SDS011) e ainda que considerado o cenário de menor proximidade, o valor observado foi superior ao encontrado por [13], que numa experiência semelhante obteve o valor de 0,84 para este parâmetro.

De modo geral, em 3 dos 4 ensaios realizados, o sensor SDS011 apresentou desempenho superior ao sensor SEN0177 quando analisados os parâmetros aplicados.

B. Avaliação e intercomparação dos valores de temperatura e humidade relativa

A Tabela 2 apresenta os parâmetros estatísticos para verificação do comportamento dos dados obtidos pelo sistema construído para temperatura e humidade relativa quando comparados com os valores obtidos pela sonda IAQ610.

TABELA II. PARÂMETROS ESTATÍSTICOS USADOS NA AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO PROTÓTIPO RELATIVAMENTE À MEDIÇÃO DA TEMPERATURA E DA HUMIDADE RELATIVA

Ensaio	Parâmetro	r	d	R
1	T	0,704	0,404	0,496
	HR	0,902	0,653	0,814
2	T	0,763	0,606	0,582
	HR	0,950	0,631	0,902
3	T	0,616	0,392	0,379
	HR	0,956	0,675	0,913
4	T	0,908	0,552	0,824
	HR	0,952	0,625	0,906

Na análise dos dados obtidos é possível observar que os comportamentos apresentam baixa correlação, sobretudo no que diz respeito a temperatura, onde nos piores cenários são

encontrados $r = 0,616$; $d = 0,392$ e $R = 0,379$. Uma melhor relação entre os comportamentos é observada para humidade relativa, de modo a obter como menores valores $r = 0,902$; $d = 0,625$ e $R = 0,814$. A Fig. 4 apresenta os gráficos com os dados obtidos por ambos equipamentos.

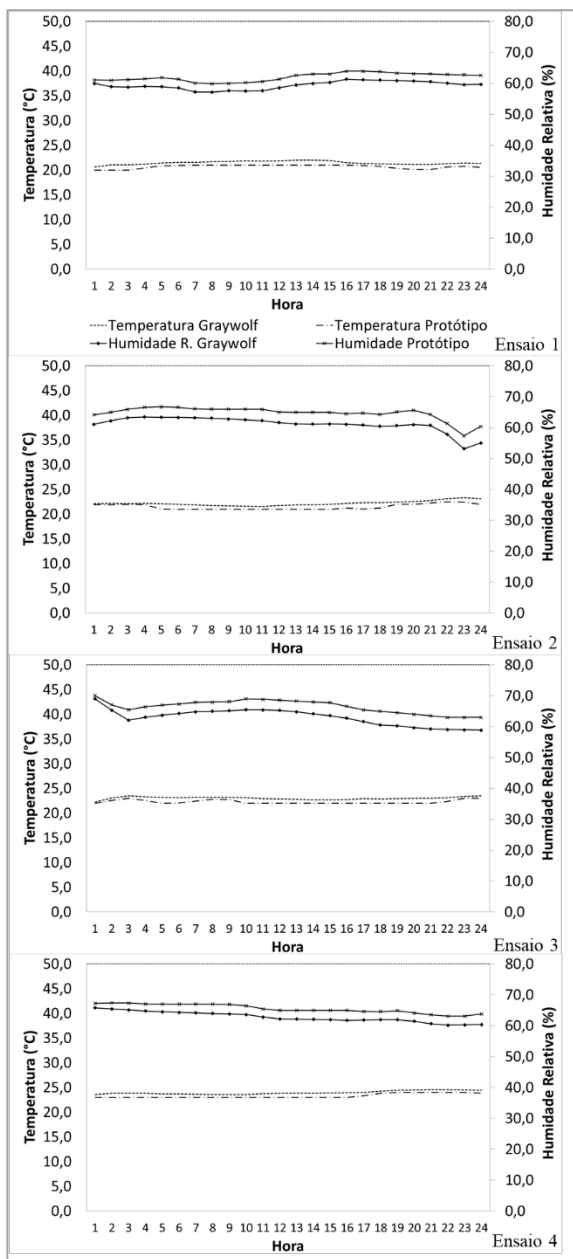


Fig. 4. Evolução temporal da temperatura e humidade relativa médias obtidas pelo sensor do protótipo e pela sonda IAQ610.

É perceptível a proximidade entre os valores informados por ambos sensores ao analisar os gráficos, nomeadamente quando analisada a temperatura. É, no entanto, neste parâmetro em que pequenas oscilações são observadas apenas na sonda IAQ610, fator que é explicado pela ausência da décima de unidade no sensor DHT11. Quanto à humidade relativa uma variação de maior amplitude pode ser observada, porém com uma oscilação bastante semelhante ao equipamento de maior precisão.

Para estes dados obteve-se um desvio máximo entre os equipamentos de 5,9% para a humidade relativa e de 1,6°C

para as temperaturas, quando considerados os dados com resolução temporal de 1 minuto. Para a aplicação desejada deste dispositivo as diferenças obtidas não são significativas e cumprem perfeitamente com objetivo de estudo [14].

C. Avaliação e intercomparação das concentrações de CO₂

Os parâmetros estatísticos, desta vez aplicados com o intuito da avaliação do comportamento dos dados obtidos pelo sistema para as concentrações de CO₂, são apresentados na Tabela III.

TABELA III. PARÂMETROS ESTATÍSTICOS USADOS NA AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO PROTÓTIPO REFERENTE À MEDIÇÃO DE CO₂

Ensaio	r	d	R
1	0,996	0,900	0,993
2	0,990	0,976	0,979
3	0,988	0,900	0,977
4	0,999	0,978	0,998

É possível observar que para todos os parâmetros, e em todos os ensaios, foram encontrados valores superiores a 0,9, indicando fortes correlações entre as concentrações obtidas pelos equipamentos.

A Fig. 5, que apresenta a evolução temporal das concentrações médias de CO₂ obtidas pelo sensor do protótipo e pela sonda IAQ 610, deixa ainda evidente que somado a estes resultados positivos encontrados, os erros observados apresentam também uma baixa variação, que podem desta forma sere corrigidos por meio de um simples ajuste nas leituras observadas no sistema.

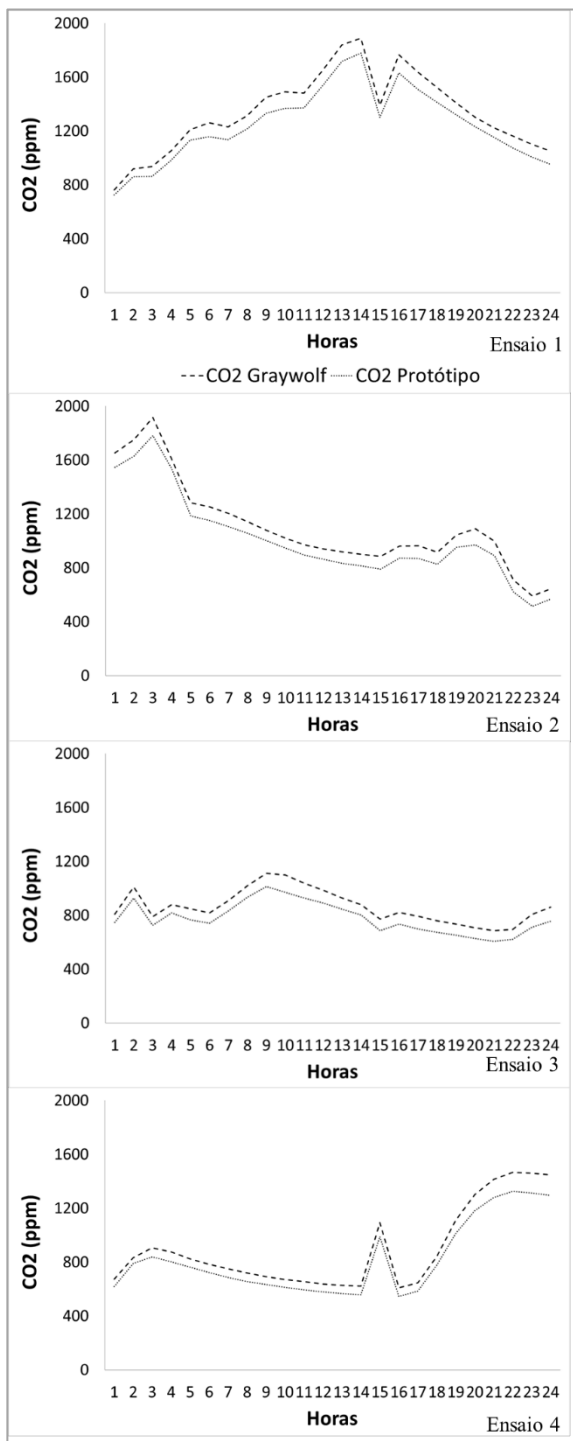


Fig. 5. Evolução temporal das concentrações médias de CO₂ obtidas pelo sensor do protótipo e pela sonda IAQ610.

IV. CONCLUSÕES

A obtenção de elevadas escalas espaço-temporais no estudo de poluentes em ambientes interiores tem-se tornado uma realidade cada vez mais próxima, face aos avanços tecnológicos observados nas últimas décadas. Com o presente trabalho procurou-se contribuir para essa realidade, com a elaboração de um protótipo de baixo custo e elevada portabilidade capaz de realizar a medição de parâmetros da QAI em tempo real. A robustez e a fiabilidade do protótipo ficaram igualmente bem demonstradas nos vários ensaios de intercomparação realizados, que envolveram o protótipo e

outros equipamentos comerciais de elevada precisão e exatidão.

De um modo geral, pode afirmar-se que o protótipo permitiu reproduzir fielmente os comportamentos das concentrações de PM_{2,5} e de CO₂. Para temperatura e humidade relativa, ainda que os resultados obtidos para os parâmetros de comparação demonstrem baixa relação entre os dados informados pelos equipamentos, as amplitudes dos desvios não são significativas para a aplicação pretendida do sistema.

O baixo custo, dimensões reduzidas e a facilidade de reparação dos componentes pode proporcionar a utilização do equipamento em residências familiares, escolas e instalações públicas. Informações relevantes à integridade física dos ocupantes podem ser disponibilizadas através do equipamento, como a necessidade de elevação do RPH quando detetadas elevadas concentrações dos poluentes de estudo. O acesso a estas informações é também facilitado devido a possibilidade de observação dos parâmetros por meio da plataforma ThingSpeak, que pode ocorrer através de qualquer terminal com conexão a internet.

O custo associado à construção deste sistema faz-se ainda com que seja viável a realização de amostragens em um maior número de pontos nos ambientes interiores, que pode proporcionar a ampliação dos conhecimentos quanto à dispersão do material particulado e de outras características ao longo do tempo e espaço nestes ambientes.

As dimensões do equipamento, ainda que já reduzidas, podem ser minimizadas por meio da construção de um sistema com base em uma placa de circuito impresso, que além deste benefício promoveria ainda a estabilidade da conexão dos sensores ao microcontrolador. Com a obtenção deste sistema ainda mais compacto e estável, é possível acoplar o equipamento ao corpo de um indivíduo, possibilitando a realização de estudos de exposição pessoal.

REFERÊNCIAS

- [1] Oliveira, E. F., Gustafsson, H., Seppänen, O., Crump, D. e Ventura, G. S. "WP3 Final Report on Characterization of Spaces and Sources. EnVIE Project, European Commission 6th Framework Programme of Research, Brussels, Belgium."
- [2] ASHRAE Standard "Standard for the design of high-performance green buildings except low-rise residential buildings." Vol. 189.1, 2011.
- [3] Sundell, J. "On the history of indoor air quality and health" em *Indoor Air*, Vol. 14, 2004, pp. 51–58.
- [4] WHO. (2010). "WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants" *Bonn, Germany: in puncto druck medien GmbH* (pp. 0–484). <https://doi.org/10.1186/2041-1480-2-S2-11>
- [5] Logue, J. M., Mckone, T. E., Sherman, M. H., & Singer, B. C. "Hazard assessment of chemical air contaminants measured in residences" Em *Indoor Air*, vol. 21, 2011, pp. 92–109.
- [6] United States Environmental Protection Agency. (2015). "Particulate matter". Obtido de <<https://www.epa.gov/pm-pollution>>.
- [7] Pope, C. A., & Dockery, D. W. (2006). "Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect" *Em Journal of the Air & Waste Management Association*, vol. 56, 2006, pp. 709–742.
- [8] Slezakova, K., Morais, S., & Pereira, M. do C. "Atmospheric Nanoparticles and Their Impacts on Public Health" *Em IntechOpen*, 2013, pp. 503–529.
- [9] Sundell, J. "On the history of indoor air quality and health" *Em Indoor Air*, vol. 14, 2004, pp. 51–58.
- [10] Cohen, A. J., & Pope, C. A. "Lung cancer and air pollution" *Em Environmental Health Perspectives*, vol. 103, 1995, pp. 219–224.

IV Congresso Ibero-Americano de Empreendedorismo, Energia, Ambiente e Tecnologia

- [11] International Agency for Research on Cancer. "Outdoor air pollution a leading environmental cause of cancer deaths" *Em Environmental and Molecular Mutagenesis*, vol 51, 2013, pp. 229–235.
- [12] Kulkarni, P., Baron, P. A., & Willeke, K. (2011). "Aerosol Measurement: Principles, Techniques, and Applications" 3rd ed., vol. 1, Wiley, 2011, pp. 270-272.
- [13] Castell, N., Dauge, F. R., Schneider, P., Vogt, M., Lerner, U., Fishbain, B., Bartonova, A. *et al.* "Can commercial low-cost sensor platforms contribute to air quality monitoring and exposure estimates?" *Em Environment International*, vol. 99, 2017, pp. 293–302.
- [14] Fang, L., Clausen, G., & Fanger, P. O. "Impact of Temperature and Humidity on the Perception of Indoor Air Quality" *Em Indoor Air*, vol. 8, 1998, pp. 80–90.

MEMBRANAS HÍBRIDAS CATIÔNICAS DE PVA E DIÓXIO DE ESTANHO MODIFICADO COM SAL DE FENOL RETICULADAS COM MISTURA DE ÁCIDOS.

Luis Guilherme da SilvaMatts
*Graduação em Engenharia Mecânica
Universidade Federal Fluminense
(UFF)*
Volta Redonda, Brasil
guilhermimatts@hotmail.com

Fabiana Campos do Nascimento
*Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Metalúrgica (PPGEM)
Universidade Federal Fluminense
(UFF)*
Volta Redonda, Brasil
proffabicampos@gmail.com

Larissa Aparecida Toledo Costa
*Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Metalúrgica (PPGEM)
Universidade Federal Fluminense
(UFF)*
Volta Redonda, Brasil
larissatoledo@id.uff.br

Ailton de Souza Gomes
Instituto de Macromoléculas Professora
Eloisa Mano- IMA
Universidade Federal do Rio de Janeiro
(UFRJ)
Rio de Janeiro, Brasil
asgomes@ima.ufjf.br

Liz Contino Vianna de Aguiar
*Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Metalúrgica (PPGEM)
Universidade Federal Fluminense
(UFF)*
Volta Redonda, Brasil
lizcontino@gmail.com

Fábio José Bento Brum
*Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Metalúrgica (PPGEM)
Departamento de Engenharia
Metalúrgica
Universidade Federal Fluminense
(UFF)*
Volta Redonda, Brasil
fabiobrum@id.uff.br

Resumo—As membranas poliméricas tem papel central na operação de células a combustível, sendo elas foco de muitas pesquisas. Neste trabalho foram sintetizadas membranas híbridas de poli(álcool vinílico) (PVA) com dióxido de estanho modificado com sal de fenol e reticuladas com 30% da mistura dos ácidos sulfotálico e sulfossuccínico. A quantidade de partículas inorgânicas foi de 1, 3, e 5% em relação a massa do PVA. As membranas sintetizadas foram caracterizadas quanto ao grau de inchamento em água, estabilidade térmica e química, capacidade de troca iônica, além da condutividade protônica ter sido estimada através da técnica de impedância eletroquímica. As membranas exibiram inchamento controlado e consideravelmente menor do que o polímero puro, melhora na estabilidade térmica e a condutividade protônica alcançou o valor máximo de 0.014 S/cm⁻¹ na membrana que continha 3% de dióxido de estanho modificado.

Palavras-Chave—Poli(álcool vinílico), células a combustível, dióxido de estanho, condutividade protônica, membranas.

Abstract—Polymer membranes play a central role in the operation of fuel cells and are the focus of much research. In this work poly (vinyl alcohol) (PVA) hybrid membranes were synthesized with tin dioxide modified with phenol salt and crosslinked with 30% of the mixture of sulfophthalic and sulfosuccinic acids. The amount of inorganic particles was 1, 3, and 5% relative to the mass of the PVA. The membranes synthesized were characterized by the degree of swelling in water, thermal and chemical stability, ion exchange capacity, and the proton conductivity was estimated by the electrochemical impedance technique. The membranes exhibited controlled swelling and it was considerably less than pure polymer, improved thermal stability and the proton conductivity reached the maximum value of 0.014 S / cm⁻¹ on the membrane containing 3% modified tin dioxide.

Keywords—Poly(vinyl alcohol), fuel cells, tin dioxide, protonic conductivity, membrane.

I. INTRODUÇÃO

No decorrer dos anos, a sociedade moderna defronta-se cada vez mais com obstáculos para promover o avanço tecnológico. Dentre os principais desafios a serem vencidos, apresentam-se o esgotamento de combustíveis fósseis e a degradação do meio ambiente, que estão intimamente relacionados, uma vez que uma das principais fontes de poluição ambiental é o uso de combustíveis fósseis para geração de energia [1].

De maneira análoga às energias solar, eólica e biomassa, as células a combustível (FC) entram nesta contextualização, apropriadamente, como uma tecnologia de geração de energia alternativa a partir de fontes renováveis, uma vez que estas compreendem sistemas de geração de energia onde um combustível é convertido eletroquimicamente em energia [2].

As células a combustível de eletrólito polimérico (PEMFC) tornaram-se populares devido à possibilidade de utilização em temperaturas menores que as células a combustível tradicionais. Nesse tipo de célula, o eletrólito polimérico é que separa fisicamente o catodo do anodo e realiza a condução de prótons entre os mesmos. O destaque das células que empregam as membranas poliméricas como eletrólito está em operações abaixo de 100 °C [3].

O Nafion® é muito empregado em FC alimentadas por hidrogênio, devido a sua elevada condutividade protônica e boa estabilidade química. Entretanto, apresenta algumas desvantagens como custo elevado e redução da condutividade em ambientes de baixa umidade. Logo, pesquisas que desenvolvam novos eletrólitos para FC são de grande necessidade [4].

O poli (álcool vinílico) (PVA) apresenta como característica básica solubilidade em água, biodegradabilidade, e boa estabilidade térmica quando reticulado. O PVA é um polímero de baixo custo que,

devido a sua boa capacidade de formação de filmes e não necessidade de solventes orgânicos, tem sido estudado para aplicação em FC [5].

Encontra-se na literatura diversos tipos de óxidos utilizados como cargas em membranas poliméricas na tentativa de sinergismo entre os dois componentes orgânicos e inorgânicos [6]. Assim são formadas as membranas híbridas, nas qual espera-se melhor resistência térmica devido ao componente inorgânico. No presente trabalho foi utilizado o dióxido de estanho modificado com Tiron. O Tiron é um sal de fenol que possui grupamento sulfônico em sua estrutura, dessa forma são sintetizadas membranas híbridas que além do componente inorgânico, também contribuem para condutividade.

Devido a característica hidrofílica do PVA diferentes técnicas de reticulação são utilizadas. Entre as mais populares está a reticulação química e a reticulação térmica. No presente trabalho ácidos funcionalizados (ácido sulfossuccínico e ácido sulfoftálico) foram utilizados com o intuito de promover não só a reticulação das cadeias poliméricas, mas como também inserir grupos condutores na cadeia do mesmo, já que o PVA por si só tem condutividade protônica muito baixa.

O presente trabalho objetiva a formação de membranas híbridas de PVA, dióxido de estanho modificado reticuladas com mistura de ácidos para aplicação em células a combustível de membrana polimérica. Com tal intuito, as mesmas foram avaliadas quanto ao seu grau de inchamento, estabilidade química e térmica, além de medida a impedância eletroquímica para estimar-se a condutividade protônica.

II. MATERIAL E MÉTODOS

A. Materiais

Para o presente estudo foi utilizado o poli (álcool vinílico) (PVA) com 99% de hidrólise, comprado da Sigma Aldrich. Os ácidos utilizados foram ácido sulfoftálico 50% e sulfossuccínico 30% ambos da Sigma Aldrich. O dióxido de estanho foi sintetizado a partir do tetracloro de estanho penta hidratado 97% e modificado com Tiron $(OH)_2C_6H_2(SO_3Na)_2$, ambos da Sigma Aldrich. Todos os materiais foram utilizados como recebido.

B. Síntese do dióxido de estanho modificado

O dióxido de estanho modificado com o sal foi feito a partir da junção das soluções de $SnCl_4 \cdot 5H_2O$ solubilizado em água e da solução do modificador. Em seguida, a mistura permaneceu sobre agitação e refluxo durante 2h. A solução resultante foi dialisada até não serem mais detectadas a presença dos íons de cloro. O excesso de água foi retirado em um rotaevaporador. A solução remanescente foi seca em estufa à vácuo a 80°C por 24h e, após a formação dos cristais, foi macerada até virar um pó fino de aspecto amarelado.

C. Síntese das membranas de PVA

O polímero foi dissolvido em água deionizada formando uma solução de 5%. Na sequência, foi acrescentado o dióxido de estanho modificado em proporções variadas de 1,

3 e 5% em relação a massa do PVA. Todas as membranas foram reticuladas quimicamente com 30% de ácido também em relação a massa do polímero. A quantidade de ácido utilizada foi composta de 50% de ácido sulfoftálico e 50% de ácido sulfossuccínico. Deixou-se a mistura reagir e após 24h a solução foi vertida em placas de petri para evaporação de solvente. Depois da formação dos filmes, as membranas foram reticuladas termicamente em estufa à vácuo a 100°C por 24h. Formadas as membranas, iniciou-se a etapa dos ensaios. A nomenclatura utilizada no trabalho para indicar a composição de cada membrana é demonstrada na Tabela 1

TABELA.1 Nomenclatura das membranas

<i>Amostras</i>	<i>Composição</i>
PVA	Polímero puro
PSF	PVA + mistura de ácidos (30%)
PSF1	PVA + mistura de ácidos (30%) + 1% de dióxido modificado
PSF3	PVA + mistura de ácidos (30%) + 3% de dióxido modificado
PSF5	PVA + mistura de ácidos (30%) + 5% de dióxido modificado

D. Verificação da modificação do dióxido de estanho

A análise de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) foi realizada nos dióxidos de estanho puro e no dióxido de estanho modificado com Tiron. Foram feitas pastilhas de KBr com os dióxidos e a varredura foi feita na faixa de 4000 a 600 cm^{-1} em um espectrômetro Varian.

E. Avaliação do grau de inchamento das membranas

Com o uso de um cortador, foram feitos discos de mesmo tamanho em todas as membranas. Elas foram secas em estufa à vácuo e registrou-se a massa seca (ms). Cada membrana foi imersa em água deionizada e após o intervalo de 24h registrou-se a massa úmida (mu). O ensaio foi realizado a 30°C. O grau de inchamento foi determinado através da diferença entre as massas úmidas e secas de acordo com a equação (1).

$$(\mu - m_s) / m_s \times 100 \quad (1)$$

F. Verificação da estabilidade térmica

A estabilidade térmica foi verificada através da análise termogravimétrica (TGA) realizada em um analisador termogravimétrico TA *Instruments*, modelo TG Q50. Utilizou-se uma faixa de temperatura de 25 à 800°C, a uma taxa de aquecimento de 10°C/min sobre atmosfera de nitrogênio.

G. Verificação da estabilidade química das membranas

Para verificar a estabilidade química das membranas foi realizado o ensaio de Fenton. Cortes de mesmo tamanho foram feitos em todas as membranas, secou-se os cortes em estufa à vácuo e registrou-se a massa inicial (mi). As membranas secas foram imersas em uma solução aquosa 3% de sulfeto de ferro II com 3ppm de peróxido de hidrogênio durante 30min a temperatura ambiente de 25°C. Após o intervalo de tempo determinado, as membranas foram lavadas e o excesso de água retirado com um papel absorvente. Então registrou-se a massa final (mf). O quanto as membranas resistem a um ambiente oxidativo foi determinado pela equação (2).

$$(mi - mf) / mi \times 100$$

H. Capacidade de troca iônica (IEC)

O maior interesse em membranas poliméricas para células a combustível de troca protônica é a presença de carga negativa em sua estrutura que irá ligar-se ao próton do hidrogênio. Para averiguar a capacidade de troca iônica (IEC) das membranas desenvolvidas, um pedaço de cada uma delas foi imerso em uma solução 1M de cloreto de sódio na presença do indicador fenolftaleína durante 24h. Após esse período as membranas foram tituladas com solução de hidróxido de sódio 0,05M. Ao atingir o ponto de virada, verifica-se o quanto da solução de hidróxido de sódio foi consumida durante a titulação.

I. Determinação da condutividade protônica

Nesse trabalho foi utilizada a espectroscopia de impedância a.c. ou *electrochemical impedance spectroscopy* (EIS) para avaliar a condutividade protônica das membranas. Com este método é possível representar uma célula eletroquímica através de um circuito elétrico equivalente. As membranas foram previamente condicionadas em água deionizada por 1h e em seguida retirado o excesso de umidade com papel absorvente, para então determina-se a condutividade. A impedância eletroquímica foi medida em um equipamento Solartron, em uma faixa de frequência de 300 kHz a 100 mHz e amplitude de 10 mV na temperatura de 30°C. A condutividade foi determinada pela equação (3).

$$\sigma = l/RS \quad (3)$$

Onde: σ é a condutividade da membrana, l é a espessura da membrana, R é impedância da membrana e S é a área de condução.

III. RESULTADOS

A. Verificação da modificação do dióxido de estanho

A Fig. 1 mostra os resultados de FTIR obtido através da avaliação do dióxido puro e modificado. O espectro do dióxido de estanho mostra as vibrações das ligações OSnO e SnO, respectivamente, nas bandas em 663 e 565 cm^{-1} . A banda centrada em aproximadamente 3500 cm^{-1} juntamente a banda em 1640 cm^{-1} são características da presença de água na estrutura. Observando o espectro do dióxido de estanho modificado com Tiron verificou-se a redução da intensidade do pico observado em 1000 e 1200 cm^{-1} em relação ao espectro do Tiron puro. Entretanto, quase não observa-se alteração na intensidade, quando comparado ao óxido de estanho puro. Isso sugere que os grupos sulfônicos não estão

envolvidos na imobilização das moléculas de Tiron. A redução da intensidade da banda na região de 3500 cm^{-1} , e das duas bandas entre 1200 e 1300 cm^{-1} , que correspondem aos modos vibracionais OH e CO, colapsam em uma banda em 1264 cm^{-1} . Isso indica que o processo de imobilização ocorre pela coordenação dos dois átomos de oxigênio das moléculas de Tiron.

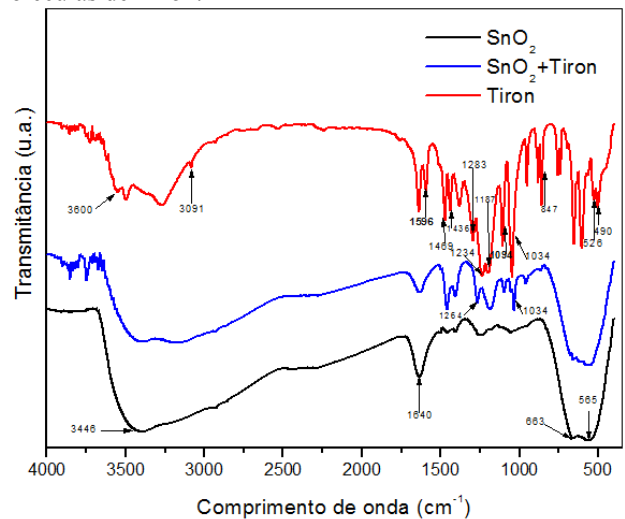


Fig.1 Avaliação por FTIR da modificação do dióxido de estanho com Tiron

B. Avaliação do grau de inchamento

O PVA é um polímero hidrossolúvel. Portanto, é importante que após a sua reticulação as membranas exibam um inchamento moderado, pois dessa forma tenta-se garantir a manutenção da estabilidade dimensional no momento da aplicação. A Fig. 2 apresenta os resultados de inchamento em água a temperatura de 30°C. Foi possível observar que todas as membranas apresentaram grau de inchamento menor do que o PVA puro. Tal resultado evidencia a ocorrência de reticulação das membranas sintetizadas. Além desse resultado satisfatório, pode-se verificar que as membranas híbridas apresentaram inchamento menor do que 50%, além de um leve decréscimo a medida que se aumentou a quantidade de dióxido de estanho modificado.

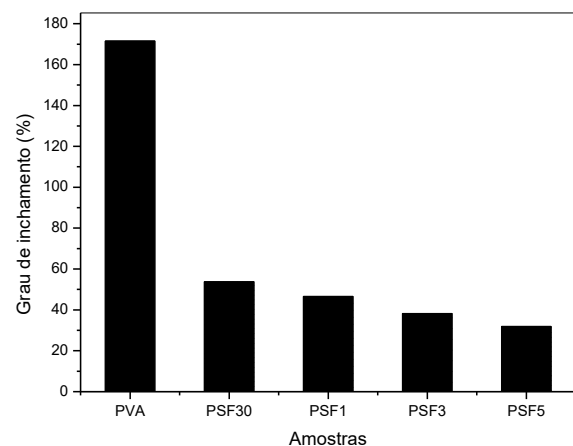


Fig.2 Resultado de inchamento em água a 30°C

C. Verificação da estabilidade térmica

A Fig. 3 mostra a avaliação da estabilidade térmica das membranas. O PVA puro é caracterizado por três fases de perda de massa. A primeira delas ocorreu entre 100-150°C e

é caracterizada pela perda de água retida na estrutura do PVA. A segunda fase de perda de massa é atribuída a perda de grupos laterais menores do PVA e ocorreu entre 210 – 300°C. A última fase é a termo oxidação da cadeia principal do PVA e ocorreu na região entre 400 – 450°C.

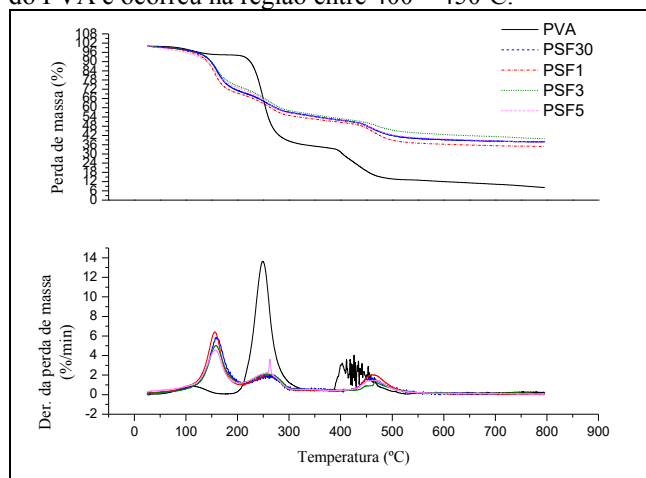


Fig. 3 Gráfico de TGA das membranas sintetizadas

Com relação as membranas híbridas e reticuladas quimicamente com os ácidos observou-se significativa redução da perda de massa em todas as fases, principalmente na segunda, visto que o PVA reticulado apresenta menor número de grupos laterais. Além disso, a inserção de partículas inorgânicas aumentou o valor de resíduos final. Observando-se a parte da derivada da perda de massa do gráfico, notou-se um pequeno deslocamento da temperatura máxima de degradação para valores maiores na terceira fase de perda de massa das membranas híbridas quando comparada a temperatura máxima de degradação do PVA puro. Justificou-se tal fato devido a reticulação química e novamente devido a presença do componente inorgânico que provoca este comportamento característico.

D. Avaliação da estabilidade química

A estabilidade química das membranas foi avaliada através do ensaio de Fenton. A Fig. 4 demonstra os resultados obtidos, e a partir dela, percebeu-se a baixa resistência a oxidação do PVA, pois o polímero puro não resistiu até o término do teste e dissolveu por completo, não sendo possível aferir a sua massa final. Todas as membranas reticuladas sintetizadas nesse trabalho apresentaram resistência melhor do que a do polímero puro, pois nenhuma membrana foi solubilizada. Quanto a inserção da partícula inorgânica, notou-se uma pequena queda na resistência química. Tal comportamento pode ser justificado devido ao tamanho micrométrico do dióxido de estanho modificado que ao ficar entre as cadeias poliméricas facilita o ataque químico do PVA.

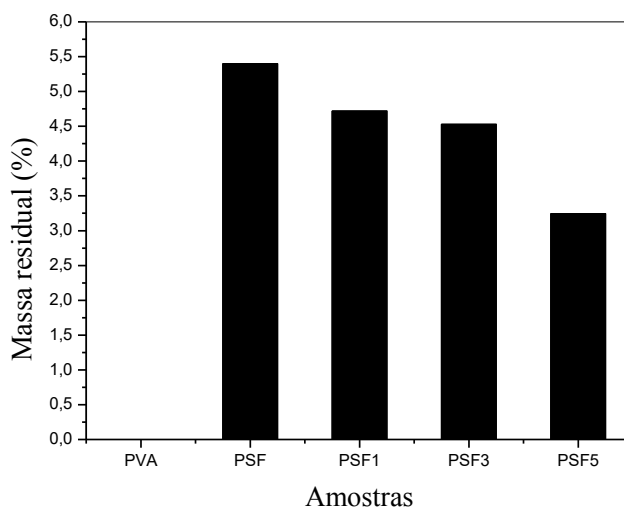


Fig. 4 Resultado do ensaio de Fenton

E. Capacidade de troca iônica

O PVA é um polímero que não apresenta grupo condutor em sua estrutura, logo a troca de íons ocorreu minimamente. Já nas membranas que possuem o grupamento sulfônico (tanto dos ácidos quanto da modificação da partícula), a troca de íons é proporcional a quantidade de grupamentos disponíveis para condução. A Fig. 5 mostra o resultado da titulação das membranas.

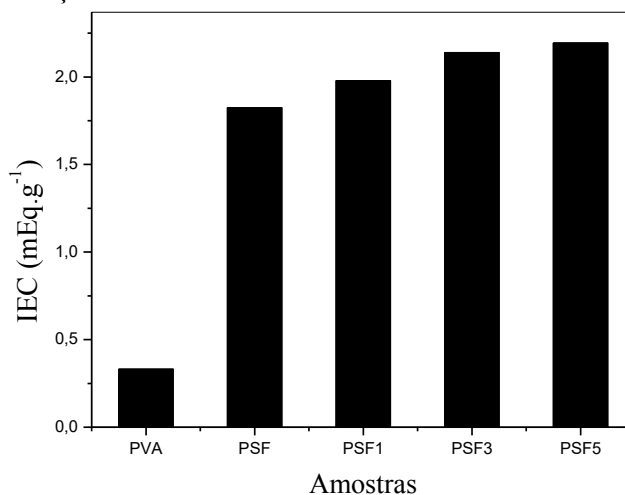


Fig. 5 Resultado da capacidade de troca iônica através da titulação

Foi possível verificar que o aumento da capacidade de troca iônica aumentou com o aumento da porcentagem da partícula modificada, já que todas as membranas possuem a mesma quantidade de ácido. Ou seja, aumentou-se a presença de grupos hidrofílicos livres para transporte de prótons.

F. Determinação da condutividade protônica

A partir dos dados da Tab. 2 pode-se verificar que a condutividade do PVA é praticamente zero, pois apresenta valor muito baixo. Ao introduzir-se os grupos sulfônicos dos ácidos e do dióxido de estanho modificado observa-se o aumento da condutividade em relação ao PVA puro. Entretanto, foi verificou-se que o aumento da quantidade de partículas inorgânicas pouco influenciou no aumento da condutividade, pois nas membranas com até 3% de dióxido de estanho modificado os valores de condutividade foram muito próximos.

TABELA 2 Resultado de condutividade

<i>Amostras</i>	<i>Espessura da amostra (cm)</i>	<i>Resistência (ohm)</i>	<i>Condutividade (S/cm⁻¹)</i>
PVA	0.009	48.9300	0.000119439
PSF	0.009	0.4375	0.013358071
PSF1	0.011	0.5538	0.0128979
PSF3	0.01	0.4500	0.014430976
PSF5	0.011	0.7719	0.009253125

IV. CONCLUSÕES

- A inserção do dióxido de estanho modificado contribuiu para melhora da estabilidade térmica das membranas, assim como o esperado com a introdução de componentes inorgânicos. Porém em função do tamanho das partículas houve leve redução na estabilidade química.
- A reticulação das membranas ocorreu de forma eficiente, pois todas as membranas desenvolvidas no trabalho apresentaram menor inchamento quando comparado ao PVA puro e incharam menos de 50%.
- A condutividade protônica mostrou que as membranas desenvolvidas tem potencial para aplicação em células a combustível, pois apresentou valores crescentes.

V. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES pelo suporte financeiro.

VI. REFERÊNCIAS

- [1] S. Munuswamy, K. Nakamura, A. Katta, “Comparing the cost of electricity sourced from a fuel cell-based renewable energy system and the national grid to electrify a rural health centre in India: A case study”, *Renewable Energy*, vol. 336, n° 11, p. 2978- 2983.
- [2] J. W. Lee, E. Kjeang, “Nanofluidic fuel cell”, *Journal of Power Sources*, vol. 242, p. 472 – 477, nov. 2013.
- [3] J. W. Lim, D. Lee, M. Kim, J. Choe, S. Nam, D. G Lee, “Composite structures for proton exchange membrane fuel cells (PEMFC) and energy storage systems (ESS): Review”, *Composite Structures*, vol. 134, p. 927 – 949, dec. 2015.
- [4] H. Ito, T. Maeda, A. Nakano, H. Takenaka, “Properties of Nafion membranes under PEM water electrolysis conditions”, *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 36, n° 17, p. 10527 – 10540, jun. 2011.
- [5] Z. Jing, Q. Jinly, J. Gaopeng, L. Lingling, L. Yuyu, Z. Jing, “Cross linked poly(vinyl alcohol/ poly (diallyldimethylammonium chloride) as anion-exchange membrane for fuel cell applications”, *Journal of Power Sources*, vol. 240, p. 359-367, oct. 2013.
- [6] H. Ahmad, S. K. Kamarudin, U. A. Hasran, W. R. W. Daud, “Overview of hybrid membranes for direct-methanol fuel-cell applications”, *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 35, n° 15, p. 2160 – 2175, mar. 2010.

Estudo de multicamadas dos polieletrólitos PDADMAC e alginato de sódio

Tamiris de Almeida
*Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Metalúrgica (PPGEM)
Universidade Federal Fluminense
(UFF)*
Volta Redonda, Brasil
tamiris_almeida@id.uff.br

Ladário da Silva
*Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Metalúrgica (PPGEM)
Departamento de Física
Instituto de Ciências Exatas (ICEx)
Universidade Federal Fluminense
(UFF)*
Volta Redonda, Brasil
ladariosilva@id.uff.br

Joyce de Paula Cipriano
*Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Metalúrgica (PPGEM)
Universidade Federal Fluminense
(UFF)*
Volta Redonda, Brasil
joycecipriano@id.uff.br

Letícia Vitorazi
*Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Metalúrgica (PPGEM)
Departamento de Engenharia
Metalúrgica
Escola de Engenharia Metalúrgica de
Volta Redonda (EEIMVR)
Universidade Federal Fluminense
(UFF)*
Volta Redonda, Brasil
leticiaivitorazi@id.uff.br

Edwin Elard Garcia-Rojas
*Departamento de Engenharia de
Agronegócios
Escola de Engenharia Metalúrgica de
Volta Redonda (EEIMVR)
Universidade Federal Fluminense
(UFF)*
Volta Redonda, Brasil
edwinr@id.uff.br

Resumo— Estudos envolvendo polieletrólitos complexos para aplicação como materiais em áreas biomédicas e farmacêuticas ou polieletrólitos em multicamadas para uso em áreas tecnológicas tem sido alvo de grande interesse de pesquisas científicas recentes. Os polieletrólitos podem ser dispostos como filmes finos sobre superfícies através da técnica de deposição sequencial de um polication e um poliânion ou vice-versa, comumente conhecida como associação layer by layer. A adsorção desses polieletrólitos em multicamadas é dirigida por interações eletrostáticas, no entanto, ligação de hidrogênio, forças de van der Waals, interações hidrofóbicas e interações dipolo também podem ocorrer. Adicionalmente, a formação das multicamadas pode ser influenciada por fatores como pH e força iônica do meio. No presente trabalho, a formação de filmes de poli (cloreto de dialildimetilamônio) (PDADMAC) e alginato de sódio foi promovida pela técnica layer by layer e o crescimento dos filmes foi estudado através da técnica elipsometria onde foram avaliadas a espessura das camadas, bem como, o índice de refração e o coeficiente de extinção das mesmas.

Palavras-chave—Filmes em multicamadas, polieletrólitos, elipsometria.

I. INTRODUÇÃO

Estudos envolvendo polieletrólitos complexos (PECs) para aplicação como materiais em áreas biomédicas e farmacêuticas [1] ou polieletrólitos de multicamadas (PEMs) com [2] ou sem [3] nanocompósitos para uso em sensores ou dispositivos de armazenamento em áreas tecnológicas tem sido alvo de grande interesse de pesquisas científicas recentes.

Polieletrólitos (PEs) são conceituados como macromoléculas com unidades de repetição que quando adicionadas em um solvente ionizante se dissociam dos seus contra íons gerando uma macromolécula carregada positiva ou negativamente. A dupla característica dessas espécies de serem macromoléculas e apresentarem cadeias altamente

carregadas tornam as mesmas atrativas para pesquisas de desenvolvimento de novos materiais [1].

Os PEs apresentam como característica formar complexos a partir da interação eletrostática entre suas espécies macro de carga oposta gerando os polieletrólitos complexos (PECs), sendo que, outras interações como ligação de hidrogênio, forças de van der Waals, interações hidrofóbicas e interações dipolo também podem acontecer entre as cadeias poliméricas e atuar na formação desses complexos [1], [4].

PEs também podem ser adsorvidos como filmes finos sobre superfícies através de deposições sequenciais de polications e poliânions ou vice-versa, geralmente empregando a técnica de associação comumente conhecida como *layer by layer* (LbL). A formação das camadas de polieletrólitos em muitos casos é promovida por interação eletrostática [5] gerando estruturas com novas características físico-químicas e variada aplicabilidade. De uma forma geral, podem ser utilizados para aumentar a biocompatibilidade de superfícies, atuar como membranas para encapsulamento de fármacos, além de ter a habilidade de incorporar nanopartículas em sua estrutura fornecendo materiais com novas funcionalidades [5]–[7]. Também são cogitados como futuros materiais para células combustíveis e fotovoltaicas devido a sua facilidade de produção [8].

A associação LbL dos PEs é um processo dinâmico no qual pode ocorrer a difusão das camadas do sistema, diferentemente do que se acreditava anteriormente, onde os filmes apresentavam somente estruturas lamelares com suas camadas moleculares individuais [9]. A forma como os polieletrólitos se comportam durante a associação das camadas podem ser definidas por dois tipos de crescimentos: linear e exponencial [8]. No crescimento linear são encontradas estruturas estratificadas onde as camadas são finamente acomodadas o que permite a introdução de espécies ativas em locais específicos. Já no crescimento exponencial ocorre difusão dos polieletrólitos dentro e fora do filme no decorrer da deposição de cada bicamada [10].

É importante ressaltar que os PECs são estruturas fora do estado de equilíbrio termodinâmico e durante o processo de construção das multicamadas e complexos fatores como a natureza e concentração dos polieletrólitos, interações hidrofóbicas, densidade de carga, o tipo de contra íon, temperatura, pH, termodinâmica da associação, força iônica e ligações de hidrogênio podem influenciar a estrutura e propriedades dos complexos e camadas obtidos [5], [11].

PDADMAC faz parte da classe dos polications onde a carga positiva é formada pela dissociação de grupamento amônio [12]. É um polieletrólito forte e sua carga não é alterada com variações de pH do meio [6]. Já o alginato, é um poliânion fraco, sendo um polissacarídeo retirado das paredes celulares de algas marinhas marrons. É um copolímero que apresenta blocos dos monômeros ácidos β -D-manurônico e α -L-gulurônico [11], [13].

Como supracitado, o processo de construção das multicamadas de polieletrólitos pode sofrer influência de vários fatores. Dessa forma, estudos do crescimento das camadas e a espessura dos filmes formados é de grande relevância para o entendimento de como alguns parâmetros controlam a estrutura das multicamadas de polieletrólitos formadas [8].

Elipsometria é uma técnica que pode ser empregada para se determinar espessuras de filmes de polieletrólitos através de medidas de mudança do estado de polarização da luz após interação desta com o material em estudo. A partir dessa mudança de estado obtêm-se os parâmetros elipsométricos denominados $\tan(\Psi)$ e $\cos(\Delta)$ que são amplitude e diferença de fase, respectivamente. Por ser uma técnica indireta, os dados obtidos são modelados e fornecem parâmetros ópticos como índice de refração (n) e coeficiente de extinção (k), bem como a espessura de um filme fino (d) [14].

O presente trabalho tem como objetivo o estudo do crescimento de camadas formadas pela associação entre os polieletrólitos poli (cloreto de dialildimetilamônio) (PDADMAC) e alginato de sódio.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

Os polieletrólitos, alginato de sódio (de algas marrons, aniônico) e o poli(cloreto de dialildimetilamônio) (PDADMAC, catiônico, $M_w < 100.000 \text{ g mol}^{-1}$, 35% em H_2O foram adquiridos da Sigma-Aldrich® e utilizados como recebidos, sendo que, as estruturas químicas dos mesmos podem ser observadas na Fig. 1. As soluções dos polieletrólitos foram preparadas em água ultrapura (Master P&D, Gehaka, $0,05 \mu\text{S.cm}^{-1}$ de condutividade) e a correção dos valores de pH dessas soluções foi feita pela adição de gotas das soluções de HCl ou NaOH (Vetec®) nas concentrações $0,1\text{-}1 \text{ mol.L}^{-1}$. Substratos de silício da marca Gritek Polished, dopados com boro, $1 \times 1 \text{ cm}$ e orientação $\langle 100 \rangle$ foram fornecidos por uma empresa da região sul fluminense e higienizados a partir da imersão dos mesmos em soluções de peróxido de hidrogênio (H_2O_2 , 130vol.) em ácido sulfúrico (H_2SO_4 , P.A.) ou hidróxido de amônio (NH_4OH , P.A.).

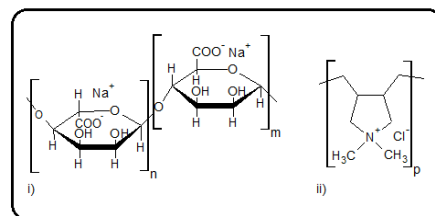


Fig.1. Estrutura química dos polímeros i) alginato de sódio e ii) poli(cloreto de dialildimetilamônio), onde n , m e p são o número de unidades de repetição.

Preparação dos Filmes

Procedimento de limpeza do substrato de silício: os substratos de silício foram mergulhados por 5 minutos em uma solução de ácido sulfúrico e peróxido de hidrogênio (7:3) e enxaguados em 100 mL de H_2O . Posteriormente, foram mergulhados por mais 5 minutos em uma solução de hidróxido de amônio e peróxido de hidrogênio (7:3) e em seguida foram lavados em 100 mL de H_2O e secos em papel [15], [16].

Solução polimérica: as soluções aquosas poliméricas foram preparadas na concentração 20 mM e tiveram seus valores de pH corrigidos para pH 10 pela adição de gotas de solução de HCl ou NaOH. O alginato de sódio foi empregado sempre após intumescimento.

Crescimento do filme layer by layer: para a formação dos filmes em multicamadas foi utilizando o método de imersão (*dip-coating*) nas soluções dos polieletrólitos positivo e negativo, respectivamente conforme mostrado na Fig. 2. Primeiramente realizou-se a imersão do substrato na solução de PDADMAC durante 10 minutos, em seguida o substrato foi lavado em água (pH 10) por 30 segundos para remoção de cadeias poliméricas não adsorvidas e em seguida foi seco sob fluxo de nitrogênio (N_2). Posteriormente, o substrato foi imerso na solução de Alginato de Sódio durante 10 minutos, imerso em água (pH 10) por 30 segundos e novamente foram secos sob fluxo de N_2 . Este procedimento foi repetido consecutivamente até a obtenção de cinco camadas.

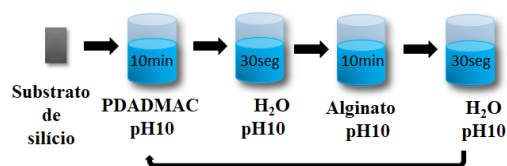


Fig. 2. Processo de deposição de camadas alternadas PDADMAC/alginato de sódio.

Elipsometria

Para as medidas de elipsometria foi utilizado o elipsômetro da marca SEMILAB®, conforme mostrado na Fig.3, modelo SOPRA GES 5E, de polarizador rotativo com microspots, lâmpada de Xe, com faixa de espectro de 200-1000 nm.

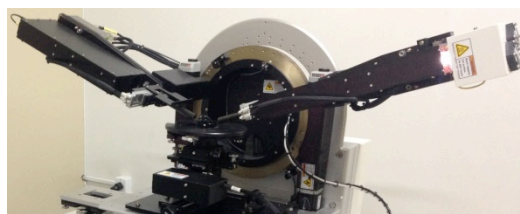


Fig. 3. Elipsômetro Espectrométrico modelo GES 5S da SEMILAB.

Para as medidas elipsométricas das camadas depositadas de polieletrólitos em substratos de silício utilizou-se ângulo de incidência de 70° e as medidas foram realizadas a 23°C . As leis de dispersão de Cauchy, Lorentz e Cauchy com Cauda de Urbach foram aplicadas aos parâmetros elipsométricos (ψ , Δ) em função do comprimento de onda (λ) para obtenção das propriedades ópticas e espessura dos filmes finos através do software “Spectroscopic Ellipsometer Analyzer” (SEA[®]) [17], [18].

III. RESULTADOS

As camadas de polieletrólitos foram crescidas sobre as superfícies de substratos de silício, inicialmente consideradas carregadas negativamente [19]. Foram crescidas cinco camadas e para cada camada adicionada foram determinados os parâmetros elipsométricos (ψ , Δ). A partir de ajustes empregando leis de dispersão foram determinadas as espessuras das camadas formadas, sendo que tais espessuras podem ser observadas na Tabela 1, assim como, os valores de índice de refração empregados para o ajuste e o coeficiente de determinação, R^2 , obtido de cada ajuste.

TABELA 1. ESPESSURAS DAS CAMADAS DO FILME DE PDADMAC E ALGINATO DE SÓDIO

Nº de camadas	Índice de refração (em 632,8 nm)	Espessura (nm)	R^2
1 camada	1,42	0,263	0,970
2 camadas	1,47	0,635	0,987
3 camadas	1,47	0,937	0,987
4 camadas	1,47	1,365	0,987
5 camadas	1,47	2,072	0,988

Geralmente, os valores do índice de refração e a espessura das camadas podem ser determinados de forma independente em elipsometria, porém quando o filme polimérico depositado apresenta uma espessura inferior a 1nm é necessário que um desses parâmetros seja usado fixo para que o outro seja determinado. Assim, a partir de dados da literatura fixou-se o índice de refração aproximado em 1,46 encontrado para o comprimento de onda de 632,8 nm [20], [21].

As espessuras das camadas formadas variaram de 0,263 – 2,072 nm e esses valores são típicos de sistemas formados em baixa força iônica e com forças eletrostáticas nas cadeias poliméricas desblindadas, o que aumenta as forças de repulsão ao longo das cadeias poliméricas fazendo com que elas apresentem uma conformação menos anovelada, consequentemente com maior razão de aspecto gerando camadas mais finas de polieletrólitos sobre a superfície do substrato [10].

É importante ressaltar que as camadas foram formadas a partir de soluções dos polieletrólitos em pH 10. O PDADMAC é um polieletrólito forte e não apresenta alteração no grau de dissociação em função do pH e independente das condições de pH o grupamento $-\text{N}(\text{CH}_3)_2^+$ encontra-se completamente carregado positivamente. Contudo, o alginato é um polieletrólito fraco, de modo que, quando o pH da solução está abaixo do valor do pKa ($\sim 3,2$ a

4) existe uma maior quantidade de grupos na forma de ácido carboxílico ou seja $-\text{COOH}$. Porém, para valores de pH básicos há deslocamento para a formação de grupos ionizados na forma $-\text{COO}^-$ que contribui com a repulsão na cadeia polimérica, tornando-as mais alongadas e gerando as camadas adsorvidas mais finas [22].

Para avaliação do tipo de crescimento de camada foi feito um gráfico de espessura *versus* camada que está apresentado na Fig. 4. Tais camadas apresentaram um crescimento linear e esse tipo de crescimento geralmente está associado a formação de filme mais estruturado, com pouca hidratação e sem ocorrência de difusão entre as camadas [8], [10]. Essas particularidades auxiliam no entendimento das estruturas geradas a partir da associação dos polímeros empregados embora o número de camadas crescidas ainda é pequeno. Maiores informações serão obtidas em futuros estudos empregando números maiores de camadas.

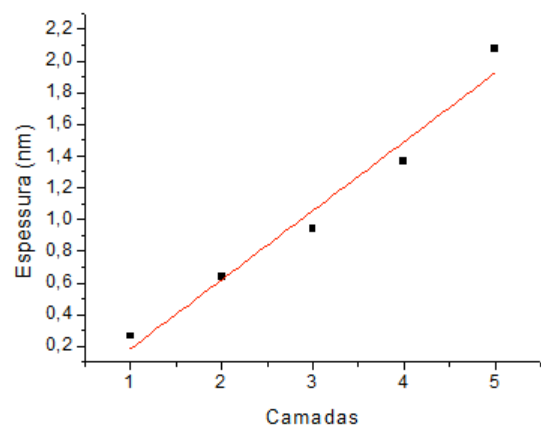
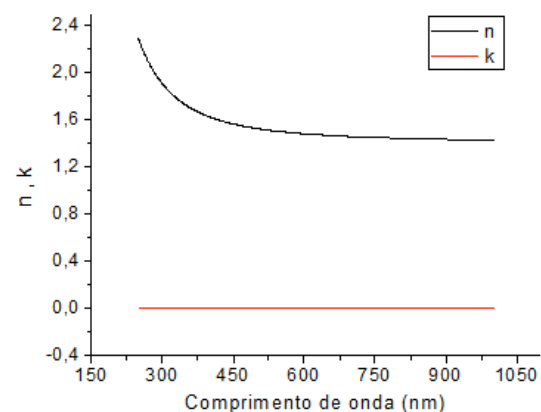


Fig. 4. Espessura da camada em função do número de camadas de PDADMAC/alginato de sódio depositadas em substrato de silício.

A partir dos dados elipsométricos também foi possível se determinar os coeficientes de extinção (k) para os filmes formados. A Fig. 5 apresenta os valores de coeficientes de extinção e índices de refração para o filme formado com 5 camadas. O coeficiente de extinção pode ser definido como um parâmetro que determina o quanto um material absorve luz [21]. Como os filmes formados apresentaram espessura na faixa 0,263 – 2,072 nm, é razoável que os mesmos sejam transparentes e não absorvam luz, justificando os coeficientes de extinção encontrados próximos a zero.

Fig. 5. Valores de n e k obtidos em função do comprimento de onda para medida elipsométrica do substrato com cinco camadas de PDADMAC/alginato de sódio.

IV. CONCLUSÃO

A partir do estudo realizado conclui-se que a partir da técnica elipsometria é possível se determinar a espessura de camadas nanométricas crescidas em substratos de silício para o par de polieletrólitos PDADMAC e alginato de sódio, bem como, determinar as propriedades ópticas desses materiais como o índice de refração e o coeficiente de extinção.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à FINEP pela aquisição do Elipsômetro Espectrométrico SEMILAB GES 5S, à Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação (PROPI) da Universidade Federal Fluminense (UFF) – Projeto 23069.004676/2014-97 pelo apoio financeiro e à CAPES pelas bolsas de Mestrado de Almeida, T. e Cipriano, J. P. No mais, Vitorazi, L. também agradece ao programa Fopesq-2017.

REFERÊNCIAS

- [1] V. S. Meka, M. K. G. Sing, M. R. Pichika, S. R. Nali, V. R. M. Kolapalli, e P. Kesharwani, “A comprehensive review on polyelectrolyte complexes”, *Drug Discovery Today*, vol. 22, nº 11, p. 1697–1706, nov. 2017.
- [2] M. A. G. Soler, “Layer-by-layer assembled iron oxide based polymeric nanocomposites”, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 467, p. 37–48, dez. 2018.
- [3] R. Raghunandhan *et al.*, “Chitosan/PAA based fiber-optic interferometric sensor for heavy metal ions detection”, *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 233, p. 31–38, out. 2016.
- [4] S. Lankalapalli e V. R. M. Kolapalli, “Polyelectrolyte complexes: A review of their applicability in drug delivery technology”, *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences*, vol. 71, nº 5, p. 481, 2009.
- [5] B. P. Das e M. Tsianou, “From polyelectrolyte complexes to polyelectrolyte multilayers: Electrostatic assembly, nanostructure, dynamics, and functional properties”, *Advances in Colloid and Interface Science*, vol. 244, p. 71–89, jun. 2017.
- [6] T. Alonso, J. Irigoyen, J. J. Iturri, I. L. Iarena, e S. E. Moya, “Study of the multilayer assembly and complex formation of poly(diallyldimethylammonium chloride) (PDADMAC) and poly(acrylic acid) (PAA) as a function of pH”, *Soft Matter*, vol. 9, nº 6, p. 1920–1928, 2013.
- [7] M. Elzbiaciak-Wodka e P. Warszyński, “Effect of deposition conditions on thickness and permeability of the multilayer films formed from natural polyelectrolytes”, *Electrochimica Acta*, vol. 104, p. 348–357, ago. 2013.
- [8] M. Elzbiaciak-Wodka, M. Kolasinska-Sojka, P. Nowak, e P. Warszyński, “Comparison of permeability of poly(allylamine hydrochloride) and poly(diallyldimethylammonium chloride) /poly(4-styrenesulfonate) multilayer films: Linear vs. exponential growth”, *Journal of Electroanalytical Chemistry*, vol. 738, p. 195–202, fev. 2015.
- [9] K. Haberska e T. Ruzgas, “Polymer multilayer film formation studied by in situ ellipsometry and electrochemistry”, *Bioelectrochemistry*, vol. 76, nº 1–2, p. 153–161, set. 2009.
- [10] G. Rydzek *et al.*, “Electrochemical nanoarchitectonics and layer-by-layer assembly: From basics to future”, *Nano Today*, vol. 10, nº 2, p. 138–167, abr. 2015.
- [11] K. Kilan e P. Warszyński, “Thickness and permeability of multilayers containing alginate cross-linked by calcium ions”, *Electrochimica Acta*, vol. 144, p. 254–262, out. 2014.
- [12] A. Michna, “Macroion adsorption—electrokinetic and optical methods”, *Advances in Colloid and Interface Science*, vol. 250, p. 95–131, dez. 2017.
- [13] S. J. Kim, S. G. Yoon, S. M. Lee, J. H. Lee, e S. I. Kim, “Characteristics of electrical responsive alginate/poly(diallyldimethylammonium chloride) IPN hydrogel in HCl solutions”, *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 96, nº 1–2, p. 1–5, nov. 2003.
- [14] T. W. Ng, A. Tay, e Y. Wang, “Spot focus size effect in spectroscopic ellipsometry of thin films”, *Optics Communications*, vol. 282, nº 2, p. 172–176, jan. 2009.
- [15] X. Arys, A. Laschewsky, e A. M. Jonas, “Ordered Polyelectrolyte ‘Multilayers’. I. Mechanisms of Growth and Structure Formation: A Comparison with Classical Fuzzy ‘Multilayers’”, *Macromolecules*, vol. 34, nº 10, p. 3318–3330, maio 2001.
- [16] Z. Sui, D. Salloum, e J. B. Schlenoff, “Effect of Molecular Weight on the Construction of Polyelectrolyte Multilayers: Stripping versus Sticking”, *Langmuir*, vol. 19, nº 6, p. 2491–2495, mar. 2003.
- [17] R. R. Santos *et al.*, “Caracterização elipsométrica de Ti-Nb e seus óxidos”, in *Anais do Congresso Anual da ABM*, Rio de Janeiro, 2017, p. 1134–1141.
- [18] M. T. D. Garcia, J. C. M. do Couto, J. A. O. Huguenin, e L. da Silva, “Caracterização de óleo em folha de flandres por elipsometria”, in *Anais do Congresso Anual da ABM*, Rio de Janeiro, 2017, p. 1584–1591.
- [19] M. Elzbiaciak, M. Kolasinska, e P. Warszyński, “Characteristics of polyelectrolyte multilayers: The effect of polyion charge on thickness and wetting properties”, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, vol. 321, nº 1–3, p. 258–261, maio 2008.
- [20] V. Selin, J. F. Ankner, e S. A. Sukhishvili, “Nonlinear Layer-by-Layer Films: Effects of Chain Diffusivity on Film Structure and Swelling”, *Macromolecules*, vol. 50, nº 16, p. 6192–6201, ago. 2017.
- [21] H. Fujiwara, *Spectroscopic Ellipsometry - Principles and Applications*. England: John Wiley & Sons Ltd, 2003.
- [22] S. J. Kim, S. G. Yoon, e S. I. Kim, “Synthesis and characteristics of interpenetrating polymer network hydrogels composed of alginate and poly(diallyldimethylammonium chloride)”, *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 91, nº 6, p. 3705–3709, mar. 2004.

Degradação do 1H-Benzotriazol Utilizando Eletrodos Modificados com Nanotubos de Titânio

Thiago Fonseca da Costa
Mestrando - PGTA
UFF
Volta Redonda - RJ, Brazil
tfc0sta20@gmail.com

Dsc. Nelson Ramos Stradiotto
Professor – PGTA
UFF
Volta Redonda - RJ, Brazil
nrstradi@gmail.com

Dsc. Patrícia Alves Carneiro
Professor – Dept. Química
UFF
Volta Redonda - RJ, Brazil
patriciacarneiro@id.uff.br

Resumo— Benzotriazóis são substâncias de enorme escala de produção, pouco biodegradáveis e muito persistentes em corpos hídricos. Estão presentes em diferentes aplicações, desde industriais como fluídos refrigerantes ou em aplicações cotidianas como detergentes de lava-louças e estabilizadores UV em plásticos. Com isso, por serem substâncias persistentes e solúveis em água acabam não sendo eliminadas pelos métodos de tratamento convencionais contaminando o meio ambiente. Dentre os métodos estudados para eliminar essa substância destacam-se os processos oxidativos avançados (POAs), em especial, a fotoeletrocatalise que se mostra promissora na remoção desse contaminante. Essa eficiência de remoção pode ainda ser intensificada utilizando nanotubos em sua superfície. Essa modificação se torna promissora não só por aumentar a eficiência, mas como também por possibilitar diminuição dos custos do processo fazendo com que o catalisador absorva energia no comprimento de onda do visível, podendo ser utilizada a luz solar no processo de tratamento. Esse procedimento será feito utilizando um reator com um fotoeletrodo de titânio coberto com nanotubos de dióxido de titânio aderidos nele. A mineralização do composto foi investigada tanto na fotocatalise como na fotoeletrocatalise comum com TiO_2 assim como com o fotoeletrodo modificado com nanotubos. Os resultados são observados nos espectros de absorção após 120 minutos de processo. Além disso, foi evidenciado que levando em consideração a eliminação de carbono orgânico, o eletrodo modificado com nanotubos mostrou-se mais eficiente na remoção, alcançando uma rápida mineralização e uma maior conversão da molécula a espécies inorgânicas. Deste modo, se observa que a modificação da superfície do eletrodo de titânio por nanoestruturas é promissora para o incremento do processo de fotoeletrocatalise e para a degradação do 1H-Benzotriazol.

Palavras-chave —Benzotriazol, Nanotubos de Dióxido de titânio, Fotoeletrocatalise, POAs, Contaminantes Emergentes

I. INTRODUÇÃO

Um dos maiores problemas ambientais da sociedade atual são os chamados poluentes emergentes, uma classe de compostos pouco biodegradáveis e muitos persistentes, que cada vez mais contaminam diversos ambientes do planeta. Dentre esses poluentes atuais existem um grupo de compostos utilizado em uma gama de processos industriais principalmente como anticorrosivos em peças metálicas, detergentes de lavadoras e também como estabilizadores de luz UV em materiais plásticos. Essa classe é chamada de benzotriazóis, a qual engloba uma vasta quantidade de diferentes compostos com uma enorme produção global, chegando a 9.000 toneladas por ano nos Estados

Unidos[1][2][3]. Um dos maiores problemas com os poluentes emergentes, e conseqüentemente com os benzotriazóis, são as formas de eliminá-los. Os métodos convencionais não são eficazes para sua remoção. É nesse cenário que surgem os processos oxidativos avançados e por conseguinte a fotoeletrocatalise. Esse processo consiste na combinação de um método eletrocatalítico com o um fotocatalítico ao excitar um semicondutor gerando pares de lacuna e elétrons que vão oxidar os mais diferentes compostos. Isso aumenta a eficiência do processo, reduz custos e ainda através da combinação desses dois métodos há uma maior degradação de diferentes poluentes recalcitrantes. Essa eficiência pode ser aumentada utilizando nanoestruturas sob titânio para que haja uma maior facilidade no transporte de elétrons e no aumento da geração de lacunas geradoras de radicais hidroxila [4].

II. MATERIAIS E MÉTODOS

A. Reagentes e Equipamentos

O reagente 1H-Benzotriazol foi adquirido da Sigma-Aldrich com grau de pureza > 99 %. Suas soluções foram preparadas utilizando água ultrapura em sistema Milli-Q, Millipore. As soluções de eletrólito de suporte de Sulfato de Sódio $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ foram preparadas com o sal de grau de pureza PA. Para os processos de fotoeletrocatalise foi utilizado um Potenciostato Metrohm PGSTAT Autolab 302N.

Para as medidas de Carbono Orgânico Total foi utilizado um analisador de carbono orgânico total SHIMADZU TOC-L-CPN e para os espectros de absorção um espectrofotômetro de varredura na região do UV-Vis SHIMADZU UV-2600.

B. Testes Fotoeletrocatalíticos

Os testes presentes nesse trabalho foram realizados utilizando solução de Na_2SO_4 $0,1 \text{ mol L}^{-1}$, com pH neutro e sob temperatura de $17 \text{ }^\circ\text{C}$. Os processos foram realizados em uma célula de vidro dupla com passagem de água para resfriamento. A célula fotoeletroquímica foi composta de uma lâmpada de mercúrio de 25 W sem bulbo e três eletrodos: um eletrodo titânio recoberto com ródio como eletrodo auxiliar, um eletrodo de Ag/AgCl como referência e uma chapa de titânio recoberta com nanotubos de dióxido de titânio (Ti/TiO₂ nanotubo) como eletrodo de trabalho e fotocatalisador. Para efeito comparativo foi também empregada uma chapa de titânio recoberta com dióxido de titânio nanoparticulado (Ti/TiO₂) como fotoânodo.

Os nanotubos foram construídos segundo o procedimento já previamente descrito na literatura [5] no laboratório de Química Analítica da Universidade Estadual de São Paulo, UNESP – Araraquara.

III. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para se avaliar os processos fotoeletrocatalíticos foram mensuradas as quantidades de carbono orgânico total (COT) antes e após o processo para verificar a sua eficiência. Além disso, foram feitas medidas de absorvância através do espectro de absorção em varredura de 200 a 600 nm para a avaliação da eliminação composto alvo.

Para a avaliação da eficiência de remoção de carga orgânica de cada processo foi utilizada uma fórmula proposta por [6].

$$\text{Porcentagem de remoção de COT} = \frac{\text{COT}_0 - \text{COT}_f}{\text{COT}_0} \times 100 \quad (1)$$

Sendo,

COT – carbono orgânico total

COT₀ – carbono orgânico total inicial (mg.L⁻¹)

COT_f – carbono orgânico total final (mg.L⁻¹)

A. Mecanismo de Degradação

É necessário saber o mecanismo de degradação do benzotriazol sob o processo de fotoeletrocatalise para que esse seja otimizado e tenha melhores taxas de remoção desse poluente.

Um fenômeno visível que ocorre durante o processo é a formação de um intermediário que deixa a solução com tonalidade marrom aos 30 minutos. Não se pode atestar ao certo qual intermediário seria, mas segundo a literatura [7] um possível intermediário é formado, onde a degradação do benzotriazol é feita através do catalisador ZnFe₂O₄, transformando-o no intermediário C₆H₅N₂. Outros autores complementam que sob fotólise as ligações N-N e N-NH se cisalham e formam anilinas e outros intermediários com grupos iminobenzenos, e dentre esses grupos há a formação de moléculas com grupo azo que possivelmente dão a tonalidade amarronzada [8].

Para outros pesquisadores [9] ao ser submetido ao processo fotoeletrocatalítico o benzotriazol sofre os seguintes mecanismos de transformação mostrados na Fig. 1.

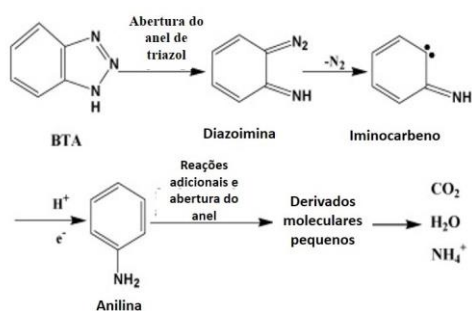


Fig 1. Mecanismo de degradação do benzotriazol no processo de fotoeletrocatalise. [9]

Acredita-se que a diazoimina é o que dá a característica de tonalidade marrom a solução encontrada aos 30 minutos do processo, principalmente em pHs neutros, pois sob pHs mais

ácidos o processo tende a ser mais favorável e por consequência mais rápido.

B. Experimentos de Degradação

Para se avaliar o melhor desempenho do eletrodo modificado com nanotubos de dióxido de titânio a técnica foi comparada com o processo fotoeletrocatalítico convencional e com a fotocatalise. Essa comparação de eficiência foi feita tanto medindo-se o carbono orgânico total, como também avaliando a eliminação das bandas de absorção do 1H-Benzotriazol no espectro de absorção molecular.

Na tabela 1 são mostradas as porcentagens de remoção de carbono orgânico total obtido em cada uma das técnicas.

Ao se investigar a fotólise do benzotriazol em meio com diferentes pHs (5,7 e 9) pode-se observar que mesmo o benzotriazol sendo transformado em diferentes produtos sua total mineralização não pode ser efetuada com esse processo unicamente, independente da influência do pH [10]. Fato também observado por outro autor, o qual mostra que apenas sob radiação ultravioleta o benzotriazol alcança no máximo uma mineralização de 20 % [11]. No entanto, em semicondutores como o dióxido de titânio, mesmo irradiados por luz em seu comprimento de onda ideal para a geração de lacunas oxidantes, esse salto dos elétrons não consegue ser sustentado por muito tempo mesmo com a constante excitação proporcionada pela radiação UV, fazendo com que o processo de fotoeletrocatalise se torne mais eficiente quando comparado a fotocatalise, pois no primeiro processo as lacunas são mantidas devido a aplicação de potencial [12].

Uma observação sobre o comportamento do benzotriazol é que ele segue uma cinética de primeira ordem e apresenta uma taxa de degradação mediana se comparado aos outros poluentes emergentes (nortriptilina, 3-metilindol, clorofeno, n-n-dietil-m-toluamida) estudados por outros autores [13]. Sob irradiação ultravioleta em presença de dióxido de titânio a degradação do benzotriazol acaba sendo efetuada principalmente pelo ataque dos radicais hidroxila gerados na lacuna de oxidação do semicondutor e não pela fotólise propriamente dita, portanto, é de extrema importância na eliminação do benzotriazol a utilização do potencial elétrico, para que essas lacunas sejam mantidas e mais radicais hidroxila sejam gerados [13]. A eficiência encontrada de cerca de 80 % é confirmada por outro trabalho com eletrodos de carbono modificados com filme de dióxido de titânio [9].

A modificação com nanotubos na superfície de fotoânodos de titânio incrementa o processo de degradação de contaminantes em água, principalmente com relação a remoção de carbono orgânico total [6]. O eletrólito de suporte também implica em uma influência crucial no aumento de eficiência, sendo o sulfato de sódio o mais ideal em seu estudo para essa função [14]. No entanto, em outro estudo é mostrada uma melhor performance de seu processo de degradação utilizando perclorato de sódio, devido talvez a geração de radicais cloro mais reativos para o processo [15], levando a crer que talvez a falta de um incremento maior na eficiência da fotoeletrocatalise do benzotriazol tenha sido pela falta também de um eletrólito mais adequado ao seu processo.

Tabela I. Remoção de carbono orgânico total através de diferentes técnicas para a degradação de 1HBenzotriazol.

% remoção de COT	Processo		
	Fotocatálise	Fotoeletrocatalise	Fotoeletrocatalise com nanotubos
	45,5 %	81,0 %	82,9 %

Nas Fig. II e III é possível verificar a degradação do Benzotriazol através da remoção de carbono orgânico total da solução após os processos investigados.

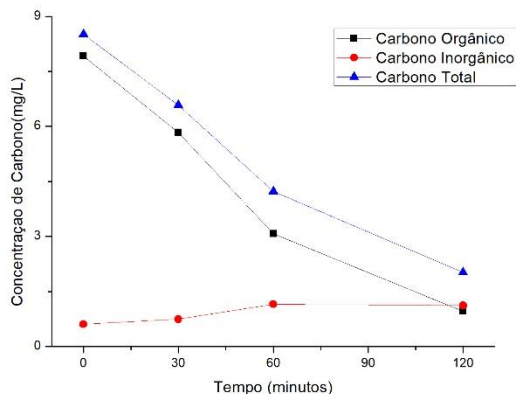


Fig. II. Comparativo de remoção de carbono orgânico, carbono total e geração de carbono inorgânico pela técnica fotoeletrocatalise com fotoânodo de Ti recoberto com nanotubos de TiO_2 .

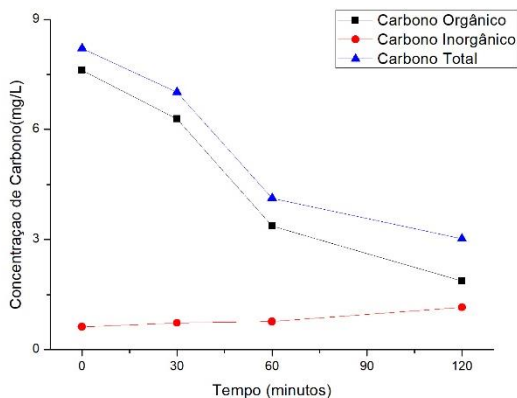


Fig. III. Comparativo de remoção de carbono orgânico, carbono total e geração de carbono inorgânico pela fotoeletrocatalise com fotoânodo de Ti recoberto com TiO_2 .

Como visto nas figuras, é notável que conforme se caminha com o processo fotoeletrocatalítico o carbono orgânico é convertido em carbono inorgânico e parte desse é transformado em dióxido de carbono, e isso faz com que haja perda de concentração de carbono no final do processo de degradação.

Na fig. II é também apresentada a concentração de carbono orgânico, inorgânico e total em diferentes momentos do processo, porém com o fotoânodo recoberto com nanotubos de dióxido de titânio, demonstrando que neste caso, há uma degradação mais rápida e uma maior conversão a carbono

inorgânico, mostrando que o processo é mais eficaz e consegue converter em menor tempo uma maior quantidade do carbono orgânico do benzotriazol a espécies mais simples. As estruturas nanotubulares aumentam a absorção de radiação luminosa além de maximizar a fotogeração de pares de elétron-lacuna, gerando maiores quantidades de radicais oxidantes. Isso pode explicar também porque houve uma maior geração de carbono inorgânico durante o processo e uma maior queda de carbono total, inclusive observado por outros autores [14]. Salienta-se entretanto, que nos estudos da literatura citados os autores [9][14] utilizam um processo de fotoeletrocatalise com duração de 180 minutos, o que leva a total mineralização do poluente, porém com 120 minutos de processo é mostrado, por ambos, que já há uma completa destruição de anel. No presente estudo como o tempo utilizado foi de 120 minutos leva-se a acreditar que há também a completa destruição do anel mostrado nas figuras IV e V, onde as bandas dos espectros de absorção do benzotriazol são completamente eliminadas ao fim deste tempo.

Quanto a eficiência de ambos os processos em relação a degradação do poluente em si, 1H-Benzotriazol, nos espectros de absorção (fig. IV e V) pode-se observar que tanto na fotoeletrocatalise comum quanto na realizada com fotoânodo recoberto com nanotubos, o 1H-Benzotriazol é totalmente eliminado, levando, ao que se acredita, a degradação da molécula. Considera-se que o anel aromático da estrutura já é aberto nos primeiros 10 minutos de processo, e essas ligações N-N e N-NH já transformadas, por isso a banda de absorção de benzotriazol já é descaracterizada na segunda amostragem, aos 30 minutos.

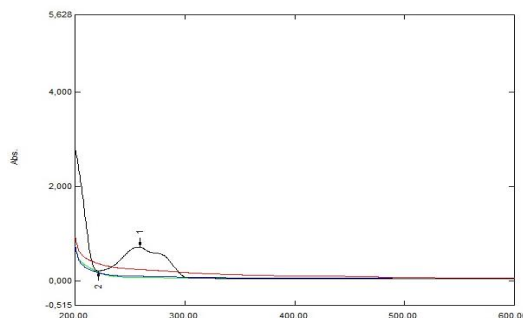


Fig. IV. Espectro de absorção obtido para benzotriazol $1 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$, em meio de sulfato de sódio $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ após fotoeletrocatalise com potencial de $1,2 \text{ V}$ em intervalo de tempo de: (■) 0 minutos, (●) 30 minutos, (▲) 60 minutos, (◐) 120 minutos.

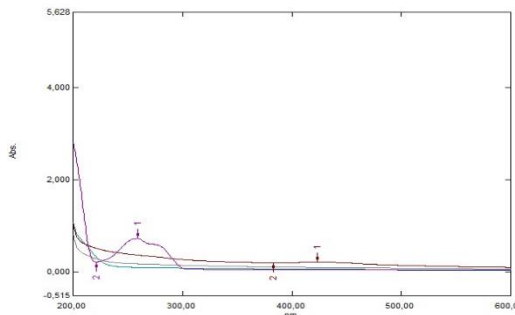


Fig. V. Espectro de absorção obtido para benzotriazol $1 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$, em meio de sulfato de sódio $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ após fotoeletrocatalise com eletrodo recoberto com nanotubos de titânio, em intervalo de tempo de: (■) 0 minutos, (●) 30 minutos, (▲) 60 minutos, (◐) 120 minutos.

IV. CONCLUSÕES

Ao se analisar as duas técnicas de fotoeletrocatalise com o fotoânodo apenas utilizando as nanopartículas de dióxido de titânio e o recoberto com nanotubos de dióxido de titânio pode se observar um ligeiro incremento na eficiência deste último processo, o que o torna mais atrativo para a degradação não só do 1H-Benzotriazol, que é um poluente emergente de extrema preocupação, mas para quaisquer outros poluentes emergentes, devido sua elevada performance descrita na literatura. Mesmo com um aumento de apenas cerca de 2 % na eficiência de remoção de carga orgânica os eletrodos modificados com nanoestruturas tubulares ainda mostram uma promissora evolução em mecanismos de degradação de poluentes, inclusive com o 1H-Benzotriazol, pois mesmo não levando a total mineralização do carbono presente há uma transformação desse em formas de carbono inorgânico e espécies mais simples. Há ainda a possibilidade de modificação das estruturas tubulares, o será alvo de futuros estudos

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao laboratório de Química Analítica da Universidade Estadual de São Paulo (UNESP) em Araraquara, ao INCT-DATREN (Processo 465571/2014) pelo apoio financeiro. Ao ICEx – UFF e ao CAPES pela bolsa para pesquisa

REFERÊNCIAS

- [1] MCNEILL, K. S.; CANCELLA, D. A. Detection of triazole deicing additives in soil samples from airports with low, mid, and large volume aircraft deicing activities. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, v. 82, n. 3, p. 265-269, 2009.
- [2] ASIMAKOPOULOS, Alexandros G. et al. Benzotriazoles and benzothiazoles in human urine from several countries: a perspective on occurrence, biotransformation, and human exposure. *Environment international*, v. 59, p. 274-281, 2013.
- [3] FELIS, Ewa; SOCHACKI, Adam; MAGIERA, Sylwia. Degradation of benzotriazole and benzothiazole in treatment wetlands and by artificial sunlight. *Water research*, v. 104, p. 441-448, 2016.
- [4] DAGHRIR, Rimeh; DROGUI, Patrick; ROBERT, Didier. Photoelectrocatalytic technologies for environmental applications. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, v. 238, p. 41-52, 2012.
- [5] CARDOSO, Juliano Carvalho; ZANONI, Maria Valnice Boldrin. Structural effects of nanotubes, nanowires, and nanoporous Ti/TiO₂ electrodes on photoelectrocatalytic oxidation of 4, 4'-oxydianiline. *Separation Science and Technology*, v. 45, n. 11, p. 1628-1636, 2010.
- [6] GARCIA-SEGURA, Sergi; BRILLAS, Enric. Applied photoelectrocatalysis on the degradation of organic pollutants in wastewaters. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 2017M. Young, The Technical Writer's Handbook. Mill Valley, CA: University Science, 1989.
- [7] WU, Junfeng et al. Removal of benzotriazole by heterogeneous photoelectro-Fenton like process using ZnFe₂O₄ nanoparticles as catalyst. *Journal of Environmental Sciences*, v. 25, n. 4, p. 801-807, 2013.
- [8] LIU, You-Sheng et al. Photolysis of benzotriazole and formation of its polymerised photoproducts in aqueous solutions under UV irradiation. *Environmental chemistry*, v. 8, n. 2, p. 174-181, 2011.
- [9] DING, Yaobin et al. Photoelectrochemical activity of liquid phase deposited TiO₂ film for degradation of benzotriazole. *Journal of hazardous materials*, v. 175, n. 1, p. 96-103, 2010.
- [10] BOROWSKA, Ewa; FELIS, Ewa; KALKA, Joanna. Oxidation of benzotriazole and benzothiazole in photochemical processes: Kinetics and formation of transformation products. *Chemical Engineering Journal*, v. 304, p. 852-863, 2016.
- [11] YE, Jinshao et al. Degradation of 1H-benzotriazole using ultraviolet activating persulfate: Mechanisms, products and toxicological analysis. *Chemical Engineering Journal*, v. 334, p. 1493-1501, 2018.
- [12] ZAREI, Ebrahim; OJANI, Reza. Fundamentals and some applications of photoelectrocatalysis and effective factors on its efficiency: a review. *Journal of Solid State Electrochemistry*, v. 21, n. 2, p. 305-336, 2017.
- [13] BENITEZ, F. Javier et al. The effectiveness of single oxidants and AOPs in the degradation of emerging contaminants in waters: a comparison study. *Ozone: Science & Engineering*, v. 35, n. 4, p. 263-272, 2013.
- [14] CARDOSO, Juliano Carvalho; LIZIER, Thiago Mescoloto; ZANONI, Maria Valnice Boldrin. Highly ordered TiO₂ nanotube arrays and photoelectrocatalytic oxidation of aromatic amine. *Applied Catalysis B: Environmental*, v. 99, n. 1-2, p. 96-102, 2010.
- [15] DASKALAKI, Vasileia M. et al. Solar light-induced photoelectrocatalytic degradation of bisphenol-A on TiO₂/ITO film anode and BDD cathode. *Catalysis today*, v. 209, p. 74-78, 2013.
- [16] FUJISHIMA, Akira; ZHANG, Xintong; TRYK, Donald A. TiO₂ photocatalysis and related surface phenomena. *Surface Science Reports*, v. 63, n. 12, p. 515-582, 2008

IV Congresso Ibero-Americano de Empreendedorismo, Energia, Ambiente e Tecnologia

Determinação da Densidade das Fibras Picadas de Bambu por Picnometria

Laryssa de Jesus Ramos
DEQ – Dept. de Engenharia Química
UFRRJ – Universidade Federal Rural
do Rio de Janeiro
Seropédica, Brasil
laryssadejesusramos@gmail.com

Simone Pereira Taguchi Borges
DEQ – Dept. de Engenharia Química
UFRRJ – Universidade Federal Rural
do Rio de Janeiro
Seropédica, Brasil
simoneptb@hotmail.com.br

Leonardo Nader Chagas
DEQ – Dept. de Engenharia Química
UFRRJ – Universidade Federal Rural
do Rio de Janeiro
Seropédica, Brasil
lnader-jr@hotmail.com

Luiz Antônio Borges Júnior
DEQ – Dept. de Engenharia Química
UFRRJ – Universidade Federal Rural
do Rio de Janeiro
Seropédica, Brasil
luizborgesjr@hotmail.com

Aldir Paes de Jesus
DQ – Dept. de Química
UFRRJ – Universidade Federal Rural
do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro, Brasil
aldirjesus@ufrj.br

Abstract— This paper evaluated the use of pycnometry with different solvents in the characterization of bamboo fiber, analyzing the interaction of the fiber with the solvent, the dispersion of the results and comparing them with the bibliography. Thus, it was possible to observe that among the solvents analyzed (distilled water, ethyl alcohol, acetone and olefin), acetone has better results.

Keywords—characterization, density, picnometry, bamboo fiber.

I. INTRODUÇÃO

O bambu é utilizado pelo homem há séculos em diversas aplicações, como em construções de casas, ferramentas, entre outras finalidades. Porém, seu potencial ainda é pouco explorado, já que é uma gramínea cuja fibra tem grande resistência mecânica, principalmente a esforços de tração, e por ser apontado em vários estudos como material alternativo em alguns segmentos da construção civil. Além de ser uma alternativa ecologicamente viável, levando em consideração que o bambu contribui com a retirada de toneladas de gás carbônico do ar atmosférico, pois realiza alto consumo deste gás, principalmente durante seu desenvolvimento [1].

O bambu está presente em vários continentes da Terra. Isso se deve ao fato deste poder ser encontrado em regiões de relevos totalmente distintos e em climas variados. Entretanto, é encontrado principalmente em áreas temperadas e zonas tropicais, por haver nessas circunstâncias maior ocorrência de chuvas e maiores temperaturas, favorecendo o desenvolvimento da maioria das espécies [2]. Contribuindo para que no Brasil exista a maior diversidade de espécies de bambus dentre os países Americanos, possuindo aproximadamente 230 espécies de 34 gêneros diferentes [3].

O avanço constante da tecnologia torna necessário o desenvolvimento de materiais cada vez mais adequados, sustentáveis e eficientes para que os mesmo possam acompanhar e contribuir com esse progresso. Nesse contexto torna-se importante a conjugação de propriedades de diferentes materiais, o que ocorre nos materiais compósitos. Materiais estes que são obtidos a partir da mistura e/ou combinação de dois ou mais materiais

quimicamente distintos e separados por uma interfase distinta [4].

Compósitos constituídos por matrizes poliméricas e fibras naturais como sisal, juta, fibra de bananeira, curauá entre outras, tem chamado a atenção de estudiosos por questões econômicas e ambientais, podendo ser utilizados em diversas aplicações apresentando comportamento satisfatório. Entretanto, quando comparadas às fibras sintéticas, as fibras naturais, em geral, possuem baixo desempenho mecânico [5].

Com a finalidade de produzir e testar o comportamento mecânico que a fibra de bambu confere quanto carga a uma matriz polimérica, torna-se necessária à determinação da densidade das fibras de bambu. Isso porque a densidade da fibra é utilizada para o cálculo da fração volumétrica das fibras (V_f) adicionadas a matriz polimérica na produção do compósito, como mostrado na equação 1, e para determinar a fração volumétrica de vazios (V_v), como mostrado na equação 2 [6], [7].

$$V_f = \frac{\rho_c}{\rho_f} * W_f \quad (1)$$

Onde V_f é a fração volumétrica das fibras; ρ_c a massa específica do compósito; W_f a fração mássica da fibra (%) e ρ_f a massa específica da fibra (g/cm^3).

$$V_v = 1 - \rho_c \left(\frac{W_f}{\rho_f} + \frac{W_m}{\rho_m} \right) \quad (2)$$

Onde V_v é a fração volumétrica de vazios; W_m a fração mássica da matriz (%) e ρ_m a massa específica da matriz (g/cm^3).

A densidade, também chamada de massa volúmica ou massa volumétrica, é considerada a mais importante de todas as propriedades físicas da madeira, possuindo a vantagem de ser uma propriedade relativamente fácil de ser determinada de forma rápida e, por refletir as características globais da madeira, é frequentemente utilizada como índice de qualidade [8].

A densidade é, como se sabe, a quantidade de matéria correspondente a um dado volume, como mostrado na equação 3. No caso da madeira, que é um material bastante higroscópico, a densidade é dependente do grau de humidade da amostra, o que origina problemas acrescidos na sua determinação. Na literatura são encontradas variadas maneiras de expressar a densidade da madeira [9].

$$d = \frac{m}{v} \quad (3)$$

Onde d é a densidade, m é a massa da substância e v é o seu volume [10].

A densidade relativa de uma substância pode ser obtida pela razão entre a sua densidade e a densidade de uma substância estabelecida como padrão [11]. Usualmente usa-se a água como padrão, cuja densidade é tabelada de acordo com temperatura. Já a densidade aparente de uma substância é aquela determinada no ar, sem referenciar as flutuações do mesmo, enquanto a densidade real é medida no vácuo [12].

Um método para se determinar a densidade de sólidos com precisão razoável é a picnometria, através das equações 4 e 5. Como se sabe, o ato de medir consiste, no fundo, em comparar uma grandeza com um padrão para esta grandeza. De forma semelhante, o picnômetro determina a densidade relativa a um líquido padrão. Sendo a densidade relativa um número adimensional e o picnômetro uma vidraria padronizada de volume fixo [13].

Os líquidos padrões comumente utilizados são a água destilada ou o mercúrio, sendo substâncias cuja densidade pode ser encontrada na literatura. O uso dessa vidraria é particularmente interessante na obtenção da densidade de material sólido na forma de pó, tendo sua precisão aumentada com o uso de balanças analíticas com elevada resolução [13].

$$V = \frac{m_1 - m_2}{\rho_p} \quad (4)$$

Onde m_1 é a massa do picnômetro cheio somado a massa da amostra sólida (m_s), m_2 a massa do picnômetro cheio com a amostra sólida submersa no mesmo e ρ_p a densidade do líquido padrão [13].

$$\rho_s = \frac{m_s}{V} = \frac{m_s}{m_1 - m_2} \rho_p \quad (5)$$

Onde m_s é a massa do sólido.

Por ser normalmente utilizada como líquido padrão em determinações de densidade, torna-se necessário levar em consideração o fato de que as medidas de densidade da água são afetadas pela variação da temperatura. Para a água à temperatura ambiente, a densidade decresce cerca de 0,03% por cada 1°C de aumento de temperatura [14].

A densidade do bambu varia de acordo com fatores como idade, espécie, condições ambientais e localização na

estrutura do próprio bambu [15]. A bibliografia mostra valores variando de 0,6 a 1,44 g/cm³ ao comparar diferentes espécies com diferentes idades [16], [17], sendo plausível concluir que a amplitude dessa variação possa ser ainda maior levando em consideração a existência de uma grande diversidade de espécies.

Para que bons resultados sejam obtidos na picnometria é desejável que o sólido analisado consiga decantar e que durante o procedimento não haja a presença de bolha, estando o material analisado saturado no solvente utilizado para a determinação. Dessa forma, este trabalho teve como objetivo propor metodologias para a determinação da densidade da fibra de bambu através da picnometria comparando os resultados de diferentes solventes (água destilada, álcool etílico e acetona) com os valores encontrados na bibliografia onde a determinação da densidade foi realizada com o uso de outras técnicas.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

As fibras picadas de bambu estudadas foram obtidas através de um processo de tratamento do bambu, onde o mesmo foi dividido em colmos longitudinais, ficou imerso em água por 3 semanas, em seguida foram cortados os cavacos para realizar posterior trituração em um liquidificador de copo invertido com água na proporção de 1:4, uma parte de bambu para 4 partes de água. Em seguida, as fibras picadas obtidas foram secas em estufa a 100°C por 24h.

Em seguida, uma massa conhecida de fibras picadas de bambu foi colocada dentro do picnômetro, que foi semipreenchido com solvente. Então, o picnômetro foi colocado num dessecador de vidro sob vácuo por 30 minutos. Após esse tempo, a bomba a vácuo foi desligada, e o picnômetro foi cuidadosamente agitado com a finalidade de quebrar as bolhas formadas. O vácuo novamente foi feito por mais 30 minutos, seguida de outra agitação. O volume do picnômetro foi completado com o solvente, seguido de 5 minutos de espera, para que as partículas mais finas das fibras decantassem. O termômetro e a tampa da saída lateral foram colocados no picnômetro, sem que houvesse perda de fibra, durante o processo do extravasamento do solvente e a massa do conjunto foi determinada numa balança. Esse procedimento foi utilizado para a água, o etanol e a olefina como solventes. Como acetona entrava em ebulição durante o vácuo, devido ao seu ponto de ebulição baixo, 56°C a uma atmosfera, o tempo de vácuo foi de 5 min.

A Tabela 1 mostra as densidades dos solventes usados a temperatura de 25°C.

TABELA I. DENSIDADES DOS SOLVENTES

Solvente	ρ (g/cm ³)
Água Destilada	0,9970
Álcool etílico	0,7915
Acetona	0,7910
Olefina	0,7880

Após a obtenção dos resultados para cada solvente, os valores obtidos foram analisados estatisticamente. As médias de densidade encontradas para cada solvente foram calculadas através da equação 6:

$$\mu = \frac{\sum X_i}{N} \quad (6)$$

Onde μ é a média, Σ é o símbolo de soma, X_i representa cada um dos números da soma, e N indica o tamanho total da população. Com o valor da média, torna-se possível calcular o desvio padrão (σ) pela equação 7, esse valor representa a dispersão da população.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X - \mu)^2}{N}} \quad (7)$$

Com o desvio padrão pode-se calcular o erro padrão da média, valor que representa o quanto a média da amostra se aproxima da média da população. Quanto maior for o tamanho da amostra, menor será o erro padrão, e mais perto os valores das duas médias estarão um do outro. O erro padrão da média foi obtido através da equação 8.

$$EP = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \quad (8)$$

A partir daí foi calculado através da equação 9 o intervalo de confiança IC, levando em consideração um nível de confiança de 95%, para o qual o valor encontrado na tabela de distribuição t de Student é 2,776.

$$IC = [\mu - 2,776 * EP] \text{ a } [\mu + 2,776 * EP] \quad (9)$$

Onde $2,776 * EP$ representam a margem de erro.

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As densidades experimentais do bambu foram obtidas através da equação 5, utilizando para a água o valor de densidade médio da temperatura da pesagem do picnômetro cheio com a temperatura feita com a pesagem do mesmo com a amostra e completado com o solvente.

A. Determinação da densidade utilizando a água destilada como solvente:

Ao adicionar a água ao picnômetro com a fibra de bambu em seu interior, a fibra fica em suspensão. Após passar pelo vácuo o emaranhado de fibras decanta, diminuindo consideravelmente a quantidade e o tamanho das bolhas apresentadas no início do processo. Os resultados obtidos podem ser observados na tabela 2.

TABELA II. DENSIDADES OBTIDAS ATRAVÉS DO EXPERIMENTO COM A ÁGUA DESTILADA

Experimento	Densidade da Fibra (g/cm ³)
1	1,3966
2	1,1208
3	1,5391
4	1,4655
5	1,5446
Densidade média	1,4133
Desvio Padrão	0,1744
Erro padrão da média	±0,0780

B. Determinação da densidade utilizando o álcool etílico como solvente:

O álcool etílico apresentou uma interação melhor com a fibra que com a água, apresentando de cara menores quantidades de bolhas e de tamanhos menores. Assim que o álcool era adicionado no picnômetro que já estava com a fibra em seu interior, a maior parte ficou em suspensão e uma parte decantou. Após o vácuo foi possível observar apenas a presença de minúsculas olhas na interface fibra – solvente e todo o bambu se encontrava decantado. Os resultados obtidos podem ser observados na tabela 3.

TABELA III. DENSIDADES OBTIDAS ATRAVÉS DO EXPERIMENTO COM O ALCÓOL ETÍLICO

Experimento	Densidade da Fibra (g/cm ³)
1	0,9253
2	0,9684
3	1,2608
4	0,9638
5	0,7802
Densidade média	1,0296
Desvio Padrão	0,1748
Erro padrão da média	±0,07816

C. Determinação da densidade utilizando a acetona como solvente:

A acetona apresentou excelente interação com a fibra do bambu, assim que ela era adicionada no picnômetro a fibra já permanecia decantada e não era possível a observação de bolhas a olho nu. Os resultados obtidos podem ser observados na tabela 4.

TABELA IV. DENSIDADES OBTIDAS ATRAVÉS DO EXPERIMENTO COM A ACETONA

Experimento	Densidade da Fibra (g/cm ³)
1	0,4921
2	0,5896
3	0,4232

Experimento	Densidade da Fibra (g/cm ³)
4	0,3987
5	0,5534
Densidade média	0,4914
Desvio Padrão	0,0817
Erro padrão da média	±0,03655

D. Determinação da densidade utilizando a olefina como solvente:

A olefina apresentou boa interação com a fibra, que permaneceu precipitada com a adição do solvente no picnômetro. Entretanto foi observada uma quantidade razoável de pequenas bolhas entre na interface solvente – fibra, que se mostraram persistentes, de difícil remoção. Os resultados obtidos podem ser observados na tabela 5.

TABELA V. DENSIDADES OBTIDAS ATRAVÉS DO EXPERIMENTO COM A OLEFINA

Experimento	Densidade da Fibra (g/cm ³)
1	0,7336
2	0,6523
3	0,8387
4	0,8777
5	0,9026
Densidade média	0,8010
Desvio Padrão	0,1052
Erro padrão da média	±0,04705

E. Comparação e análise dos solventes utilizados:

Mesmo usando solventes diferentes na picnometria, esperava-se que os resultados de densidade da fibra picada de bambu encontrados fossem ser semelhantes ou próximos. Entretanto esses resultados se mostraram diferentes para solventes diferentes, mesmo considerando a variabilidade para cada solvente.

A Fig. 1 mostra as densidades das fibras de bambu picada obtidas em função de cada solvente, considerando erros estatísticos dentro de uma faixa de 95% de confiabilidade. Observa-se que o maior valor de densidade da fibra encontrado foi usando a água como solvente, e o menor foi com o uso da acetona. Este solvente possui uma densidade maior que a olefina, mostrando que não há uma relação direta entre as densidades dos solventes e os resultados de densidade de bambu obtido.

Possivelmente, as diferenças nos resultados estejam relacionadas com a tensão superficial. Pois, durante a análise com a água, foi observado uma grande presença de microbolhas de ar formadas na interface bambu – solvente, mostrando a dificuldade da água de penetrar nos micro poros e provocar a saturação da fibra. Também foram observados, que a quantidade e o tamanho dessas

microbolhas de ar foram diminuindo para o experimento realizado com o etanol, seguido da olefina, mas não foram observadas no experimento realizado com a acetona.

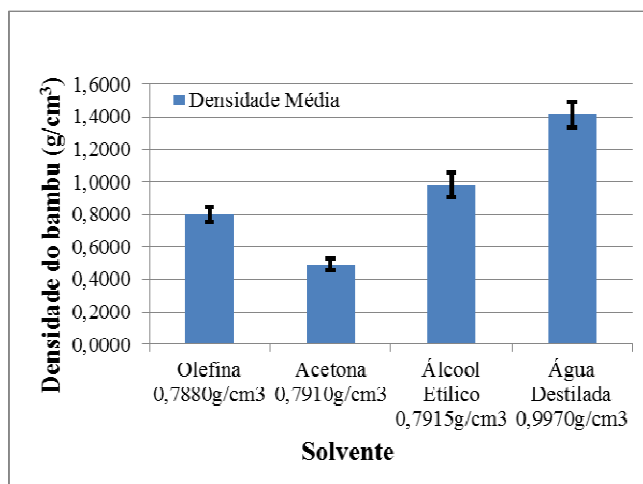


Fig. 1. Gráfico da densidade da fibra picada de bambu versus solvente.

IV. CONCLUSÃO

Conclui-se que, devido a tensão superficial, o tipo de solvente usado na picnometria influencia nos resultados na determinação da densidade da fibra picada de bambu. A acetona apresentou melhores resultados de interação interface do bambu e solvente, sem formação de microbolhas na superfície da fibra, que decantava imediatamente indicando uma saturação da fibra com solvente. Características que não foram observadas para os outros solventes analisados. Dessa forma, a densidade para fibra picada por picnometria foi de $0,4914 \pm 0,0366$.

REFERÊNCIAS

- [1] PEREIRA, M. A. R.; BERARDO A. L. Bambu de corpo e alma, Bauru, Editora Canal 6, 2007.
- [2] LONDOÑO, X. Guadua Kunth. In: WANDERLEY, M. G. L.; SHEPERD G. J.; GIULIETTI, A. M. Flora fanerogâmica do estado de São Paulo. São Paulo. Instituto de Botânica, FAPESP: HUCITEC, 2001.
- [3] FILGUEIRAS, T.; GONÇALVES, A. P. S. A checklist of the basal grasses and bamboos in Brazil (Poaceae). Bamboo Science and Culture: The Journal of the American Bamboo Society, v.18, n.1, 2004.
- [4] CALLISTER, William D.. Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. 5ª Edição. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2015.
- [5] D. S. COSTA; W. R. BANNA; D. da S. COSTA; J. A. S. SOUZA. Laminados de Matriz Polimérica e Fibras de Bambu Contínuas e Alinhadas. Florianópolis: XX Congresso de Engenharia Química, 2014.
- [6] MADSEN, B., Properties of plant fibre yarn polymer composites – An experimental study, Tese Danish Ph. D., Technical University of Denmark, Denmark, 2004.
- [7] DHAKAL, H. N., ZHANG, Z. Y., RICHARDSON, M. O. W., “Effect of water absorption on the mechanical properties of hemp fibre reinforced unsaturated polyester composites”, Composites Science and Technology, v. 67, pp. 1674-1683, 2007.
- [8] Moura, Maria J.; Figueiredo, Maria M.. Aplicação das Técnicas de Picnometria de Gás e de Porosimetria de Mercúrio à Caracterização da Madeira de *E. globulus*. Lisboa: Silva Lusitana 10(2): 207 - 216, 2002.
- [9] Atkins, P. e Jones, L. Princípios de Química: questionando a vida moderna e o meio ambiente, Porto Alegre: Bookman, 2001, p.39-40.

- [10] REZENDE, M.A., ESCOBEDO, J.F., FERRAZ, E.S., 1988. Retrababilidade Volumétrica e Densidade Aparente da Madeira em Função da Humidade. IPEF, Piracicaba 39: 33-40.
- [11] Andrade, J. C.; Custódio R. e Collins, C. H. www.chemkeys.com/bra/md/eddns-2/adddds-3/adddd-3.htm> acesso em: julho, 2006.
- [12] Salvagnini, W. www.hottopos.com.br/regeq3/densidad.htm> acesso em: julho, 2006.
- [13] Hawkes, S. J., "The Concept of Density", J. Chem. Educ., 2004, 81: 14-15.
- [14] Cecchi, H. M., "Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos", 2ª ed. Revisada, Editora Unicamp, Campinas, 2003, pp. 98-100.
- [15] AZZINI, A.; NAGAI, V. & CIARAMELLO, D. Celulose monossulfito a partir de *Bambusa vulgaris*. *Bragantia*, Campinas, 38(14): 131-44. 1979.
- [16] Delphine E.C. Depuydt; Nick Sweygers; Lise Appels; Jan Ivens; Aart W. van Vuure. THE EFFECT OF BAMBOO MICROSTRUCTURE ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF BAMBOO FIBRE REINFORCED COMPOSITES. 21st International Conference on Composite Materials, 2017.
- [17] M. J. John and R. D. Anandjiwala "Recent developments in chemical modification and characterization of natural fibre-reinforced composites, *Polymer Composites*", 29(2), pp.187-207, 2008.

Nano/microencapsulamento de biopesticidas a base de óleo de Nim para uso em agricultura orgânica.

Martha Betraiz Horn
Programa de Pós-graduação em
Engenharia e Tecnologia de Materiais
PUCRS
Porto Alegre, Brasil
martha.horn@acad.pucrs.br

Simone Stulp
Programa de Pós-graduação Ambiente e
Desenvolvimento
Univates
Lajeado, Brasil
stulp@univates.br

Marçal José Rodrigues Pires
Programa de Pós-graduação em
Engenharia e Tecnologia de Materiais
PUCRS
Porto Alegre, Brasil
mpires@pucrs.br

Resumo — Os biopesticidas possuem amplo espectro de ação, rara persistência bioacumulativa e baixa toxicidade. Entretanto, apresentam baixa resistência a alterações de pH, altas temperaturas, umidade e radiações UV. O óleo de Nim, derivado da árvore de mesmo nome, tem como princípio ativo Azadiractina, um triterpenóide, conhecido como inseticida, fungicida, acaricida. O presente trabalho descreve a preparação e caracterização de nanopartículas carregadas com esse biopesticida. Os materiais foram sintetizados pelo método de nanoprecipitação, com evaporação de solvente seguido de liofilização ou rotaevaporação. As suspensões coloidais obtidas foram caracterizadas quanto ao pH, % encapsulamento, tamanho de partícula, índice de polidispersão, potencial zeta, entre outros. Com as melhores formulações realizou-se ensaios de estabilidade, fotodegradação, termodegradação e a realização de secagem por liofilização e spray dryer. Os resultados de caracterização obtidos foram satisfatórios, com tamanho de partículas e polidispersão dentro dos valores esperados, entre 150 e 300 nm e 0,13 e 0,2, respectivamente, quando rotaevaporados. Os resultados de estabilidade, termo e fotodegradação demonstraram que a utilização da técnica de nanoencapsulamento oferece proteção ao óleo de Nim. A secagem das suspensões coloidais com a utilização de SiO₂, foram satisfatórias.

Palavras-chave — nanotecnologia, Azadiractina, Óleo de nim, nanocápsulas.

I. INTRODUÇÃO

A população mundial nos últimos 20 anos aumentou em torno de 20 % e com esse aumento surgem grandes desafios, principalmente relacionado a oferta de alimentos [1]. Esta preocupação afeta principalmente ao setor primário da economia, agricultura e pecuária, pois é a base da alimentação humana. Com o aumento da produção de alimentos a utilização de fertilizantes químicos e pesticidas são amplamente utilizados.

O uso indiscriminado de pesticidas é uma preocupação constante, principalmente em relação ao meio ambiente e a saúde do agricultor e consumidor. Estima-se que 90 % dos pesticidas aplicados são degradados antes de alcançar o seu objetivo, devido a fatores como, umidade, radiação solar e temperatura. A utilização de pesticidas pode também diminuir a qualidade dos alimentos e solos, principalmente desestabilizando a flora microbiana[2;3].

Por estes motivos surgiu a necessidade de melhorar as práticas agrícolas convencionais, com a utilização de tecnologias avançadas como a nanotecnologia e uso de biopesticidas.

A Azadiractina indica A. juss (Nim) é uma árvore e suas folhas e frutos apresentam característica inseticidas, acaricidas e fungicidas. Tem se mostrado um bom substituto a pesticidas químicos, apresentando características desejáveis de um pesticida botânico [4].

O óleo e ou extrato de nim são compostos por triterpenóides, sendo o principal deles a Azadiractina. Porém esse composto é termo e fotossensível, dificultando seu uso na agricultura. Uma forma de protegê-lo é com a utilização da nanotecnologia, tornando o princípio ativo estável.

Neste trabalho foi proposto o nanoencapsulamento polimérico do óleo de Nim, como forma de protegê-lo. O encapsulamento foi realizado com a utilização de dois polímeros biodegradáveis: poli (ácido láctico) - PLA e poli (ε-caprolactona) – PCL. Os solventes foram evaporados por duas técnicas: liofilização e rotaevaporação. As suspensões coloidais foram caracterizadas e as formulações mais promissoras foram realizados ensaios de fotodegradação, termodegradação, estabilidade e secagem, seguida de caracterização.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

A. Materiais

O óleo de nim utilizado, Azamax, produto comercial, com concentração de 12 g L⁻¹ de Azadiractina. Nas formulações foram utilizados PCL (CAPA 6500, Nature Works), PLA (4060D, NatureWorks), monoestearato de sorbitano (Span 60, Plury Química), polisorbato 80 (Tween 80), acetona (Synth), Padrão de Azadiractina 95 % (Sigma Aldrich), água ultrapura, metanol e acetonitrila (grau HPLC, J. T. Baker).

B. Preparo das Suspensões Coloidais

As suspensões coloidais foram preparadas pelo método de nanoprecipitação que constitui de duas fases: fase orgânica e aquosa. Fase orgânica é composta de Span 60, polímero (PLA ou PCL), óleo de nim, acetona, e a fase aquosa, água ultrapura e Tween 80 [5]. Após a solubilidade completa e homogeneização dos componentes, a fase orgânica é vertida sobre a fase aquosa sob agitação constante, por 30 min. A evaporação do solvente foi realizado por liofilização ou rotaevaporação.

Nos testes foram variadas as concentrações de polímeros e surfactante, conforme apresentado na Tabela 1. A quantidade de óleo Azamax, água ultrapura e acetona não foram alterados durante os testes, mantendo em 1 g, 159 mL e

81 mL, respectivamente. O total de surfactante se refere a soma de 60 % de Span 60 e 40% de Tween 80 [6].

Tabela 1. Parâmetros investigados para a formulação de Nanocápsulas de óleo de nim.

Formulações	Polímero		Total de Surfactante (%)
	Tipo	%	
1 – Liofilização	PLA	0,10	0,20
2 – Liofilização	PLA	0,20	0,20
3 – Liofilização	PCL	0,10	0,20
4 – Liofilização	PLA	0,10	0,40
5 – Liofilização	PLA	0,10	0,60
6 – Liofilização	PLA	0,10	0,80
7 – Rotaevaporação	PLA	0,10	0,20
8 – Rotaevaporação	PLA	0,20	0,20
9 – Rotaevaporação	PCL	0,10	0,20
10 – Rotaevaporação	PLA	0,10	0,40
11 – Rotaevaporação	PLA	0,10	0,60
12 – Rotaevaporação	PLA	0,10	0,80

C. Caracterização das Suspensões Coloidais

A caracterização das suspensões coloidais foram a partir dos valores de pH (Metrohm, modelo 827 pH lab) e tamanho de partícula, potencial zeta, índice de polidispersão (Zetasizer Nano Zs, modelo Zen 3600, marca Malvern Instruments).

Outro parâmetro muito importante analisado foi % Eficiência de Encapsulamento (% EE), calculado através da Equação 1. Esta metodologia foi realizada com o auxílio do equipamento HPLC-DAD (marca Shimadzu, com as configurações, desgaseificador DGU-20AT, bomba LC-20AT, auto amostrador Sil 20AHT, forno CTO-20A, detector DAD SPD-M20A). Na suspensão coloidal foram calculados os valores totais de Azadiractina (AZA) na amostra, através da ruptura das cápsulas com acetona, 0,3 mL de suspensão e 2,7 mL de acetona, repouso de 2 horas e após centrifugação de 30 minutos. Retirou-se a alíquota de 1,5 mL do sobrenadante e evaporado com fluxo de N₂, e após adicionado metanol e analisado no HPLC-DAD. Também foi determinado na fase aquosa livre de nanocápsulas na suspensão, através do processo de ultrafiltração-centrifugação, com filtro Amicon® Ultra 0,5 mL, 10 kDa.

$$\% EE = \frac{(\text{Total de AZA} - \text{AZA livre})}{\text{Total de AZA}} \times 100 \quad (1)$$

D. Degradação Térmica e Fotoquímica de Suspensões Coloidais

As melhores formulações de suspensões coloidais e o óleo Azamax foram submetidas a degradação térmica e fotoquímica. O ensaio da degradação térmica consiste em realizar aquecimento assistido a 60°C, durante 48 horas, utilizando uma estufa SOLAB, SL 102 [7].

A degradação fotoquímica também foi realizada com as melhores formulações e o óleo Azamax protegido da radiação UV e não protegido. As amostras foram dispostas dentro de uma capela de fluxo laminar, com ventilação e a lâmpada UV,

nas regiões em que havia vidro, foram revestidas por papel alumínio. A ventilação constante tem como objetivo manter a temperatura estável (temperatura durante o experimento permaneceu entre 25 °C ± 2), a lâmpada utilizada foi da marca Philips 450 mm, UVC, 15 W e folhas de papel alumínio para todas as paredes refletirem a radiação.

O objetivo foi identificar se o polímero traria alguma proteção térmica e fotoquímica ao composto Azadiractina, presente no óleo Azamax e o quanto ele é fotosensível e termotolerante.

E. Estabilidade das Suspensões Coloidais

As amostras foram armazenadas em três diferentes temperaturas, -20 °C, 4 °C e 20 °C. A estabilidade das suspensões coloidais foram avaliados a % EE e variação de pH. Os parâmetros foram analisados no início e final do período de seis meses.

F. Preparação de Cápsulas em pó por Spray Dryer e Liofilização

As suspensões coloidais após a caracterização foram secados em duas técnicas, spray dryer e o liofilizador, com o auxílio de uma adjuvante de secagem, SiO₂. Foram estabelecidas duas razões de suspensão coloidal de nanocápsulas e de SiO₂ 3%, as razões foram 0,5, 1.

A secagem com liofilizador (SOLAB, SL 404) utilizou as condições de -50 °C, -750 mm Hg⁻¹. O spray dryer (Labmaq, MSD 0,5), as condições foram: diâmetro do bico 0,7 mm, vazão de alimentação 0,15 mL min⁻¹, fluxo de atomização 45 m³ min⁻¹, temperatura de entrada e saída, 125 °C e 105 °C, respectivamente.

Após as etapas de secagem, foram realizados o rendimento e caracterizações, como o doseamento de Azadiractina e análise morfológica. O rendimento foi calculado com a massa obtida após a secagem dividido pela soma de todos components da suspensão coloidal menos a água, vezes 100. A concentração do total de Azadiractina no pó foi analisada dispersando 25 mg de pó em 5 mL de acetona, deixando por 60 min, em temperatura ambiente e sob agitação. Após este período, ocorreu a dissolução do polímero, retirou-se 1 mL desta solução e foi centrifugada por 30 min, retirado o sobrenadante e seco em fluxo de N₂. Foi solubilizado com 0,5 mL de metanol e realizada a análise por HPLC-DAD. As análises morfológicas foram realizadas no MEV-EDS (Carl Zeiss, modelo LS-10), EHT 10kV, Detector SE.

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A. Validação do Método Analítico por HPLC-DAD para Azadiractina

A concentração de Azadiractina para obter a % EE foi necessário a validação do método analítico HPLC-DAD. Este método foi adaptado para as amostras de nanosuspensão e cuidadosamente observado a possibilidade de haver algum interferente no tempo de retenção da Azadiractina. A coluna utilizada nestes ensaios foi CLC-ODS(M), Shim-pack, 150 x 4,6 mm ID e pré-coluna G-ODS-4, Shim-pack, 10 x 4.0 mm ID, o detector foi DAD.

O tempo de retenção deste composto tanto no padrão, como no óleo e encapsulados, ficou em 4,7 minutos e o comprimento de onda no detector DAD de maior intensidade foi de 201 nm. A não alteração do tempo de retenção do pico

característico de Azadiractina podemos concluir que as fórmulas ou componentes na formulação das nanocápsulas não interferiram e nem deslocou o pico devido a matriz das amostras.

Tabela 2. Parâmetros investigados para a formulação de Nanocápsulas de óleo de Nim.

	pH	Tamanho partícula (nm)	Índice polidispersão	Potencial Zeta (mV)	%EE
1-L	4,89±0,04	426,0±40,2	0,56±0,05	-30,43±0,9	99,66
2-L	4,29±0,07	416,9±65,9	0,56 ±0,06	-23,36±0,7	99,82
3-L	4,99±0,12	463,4 ±24,1	0,48 ±0,02	-32,2±0,2	99,38
4-L	4,49±0,00	211,4±3,1	0,30±0,03	-44,2±3,1	95,21
5-L	4,33±0,01	2233±293	1,0±0,00	3,2±0,2	94,01
6-L	4,56±0,01	214,0±4,3	0,32±0,02	-27,4±0,5	98,26
7-R	4,31±0,04	276,9±3,2	0,13±0,01	-24,55±0,8	100
8-R	4,04±0,01	289,1±15,7	0,16±0,02	-31,8±0,1	98,15
9-R	4,66±0,03	265,1±11,2	0,14±0,02	-47,8±0,8	92,98
10-R	3,99±0,03	222,5±3,7	0,2±0,01	-14,0±0,5	99,15
11-R	4,14±0,01	215,6±3,0	0,15±0,04	-25±1,0	98,20
12-R	4,21±0,01	228,8±2,7	0,16±0,01	-47,4±0,5	99,35

L- representa evaporação por Liofilização e R- por Rotaevaporação.

A curva de calibração linear, com a concentração entre 0,5 e 200 mg L⁻¹ (Figura 1), a equação e o coeficiente de correlação (r²) obtidos neste método, forma respectivamente: $y = 3729,0x - 4127,3$, $r^2 = 0,9996520$. O limite de detecção (LD) e quantificação (LQ), 0,9 mg L⁻¹ e 1,2 mg L⁻¹.

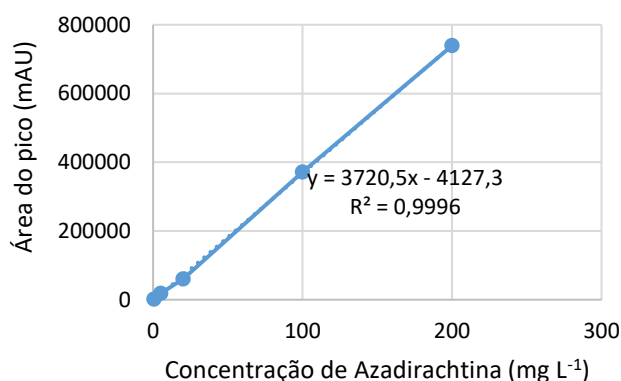


Figura 1. Curva de calibração de Azadiractina por HPLC-DAD.

B. Caracterização das Suspensões Coloidais

Nos estudos das formulações foram mantidas as concentrações de óleo, água e acetona, e alterados o tipo e quantidades de polímero e surfactantes. A proporção de 60 % de Span 60 e 40 % de Tween 80, foi sempre mantida e foram avaliados dois tipos de evaporação de solvente. As variações dos componentes, considerando os surfactantes entre 0,2 e 0,85 % e polímeros, 0,2 a 0,5 %, considerando a formulação total [5].

Os resultados apresentados na Tabela 2, mostraram as variações principalmente com relação as duas técnicas de evaporação, em especial aos parâmetros, tamanho de partícula e índice de polidispersão. As amostras liofilizadas apresentam uma maior aglomeração das nanocápsulas, fazendo com que o índice de polidispersão se torne bastante elevado quando comparado a literatura. Já as amostras rotaevaporadas, estão dentro do esperado para estas formulações, gerando baixo índice de polidispersão e partículas com tamanhos entre 200 e 300 nm.

Os valores de tamanho de partículas obtidos dentro da faixa esperada (150 e 300 nm) para a metodologia aplicada de evaporação de solvente por rotaevaporação. O tipo de polímero e sua concentração, pouco influenciou no tamanho das partículas obtidas (Tab.2). Se compararmos os valores da formulação 7 (PLA) e 9 (PCL), a diferença é de somente 10 nm, sendo a de PCL menor. Já ao aumentar a concentração de PLA, formulação 7 e 8, ocorre um aumento de 13 nm, quando a concentração de polímero dobra. Ao variar a quantidade de surfactante obteve-se uma diferença de até 61 nm, quando comparamos as amostras 7 e 11, com concentrações de surfactante entre 0,2 e 0,6 %, respectivamente.

O índice de polidispersão é uma medida muito importante, pois nos informa como está a distribuição de partículas na suspensão coloidal, o quanto elas estão homogêneas com relação ao tamanho das partículas. Valores baixos deste parâmetro indicam que as partículas estão distribuídas como pouca variação de tamanho. As amostras rotaevaporadas estão com os valores entre 0,13 e 0,2 que indicam que estão com tamanhos uniformes de partículas.

O potencial zeta está relacionado com a carga superficial das nanocápsulas, em módulo valores altos são importantes para boa estabilidade físico-química das suspensões coloidais. Grandes forças repulsivas tendem evitar a agregação em função das colisões ocasionais [8]. O PLA e PCL favorecem um potencial negativo que pode ser observado em todas as formulações exceto na amostra 5. Se comprarmos as amostras 7 e 9, a medida que foi aumentado a concentração de PLA, aumentou em módulo o potencial zeta. E também ao aumentar a concentração de surfactantes, aumentou em módulo o potencial.

A eficiência de encapsulamento junto ao tamanho de partícula são os parâmetros mais importantes para nanocápsulas. Os valores de % EE, excelente para o óleo Azamax, ficando entre 100 e 92 %, encapsulado, indicando um bom encapsulamento.

C. Degradação Térmica e Fotoquímica de Suspensões Coloidais

A degradação térmica do Azamax e melhores suspensões coloidais (1 L, 2 L, 3 L, 7 R, 8 R e 9 R) foram avaliadas para observar o comportamento das amostras quando expostas a uma temperatura de 60 °C, por um período de 48 horas.

Podemos observar a Figura 2, que todas as amostras, de suspensão coloidal e Azamax, apresentaram a taxa de degradação térmica após o tempo total do experimento, do princípio ativo Azadiractina, entre 38 e 73 % (m/m). O Azamax bruto apresentou a taxa de 55 % (m/m) de degradação térmica em 48 horas e, 38 % (m/m) em 24h, valor próximo ao encontrado no trabalho de Costa [7], cujo valor foi de aproximadamente 37 % (m/m) para o período de 24 horas.

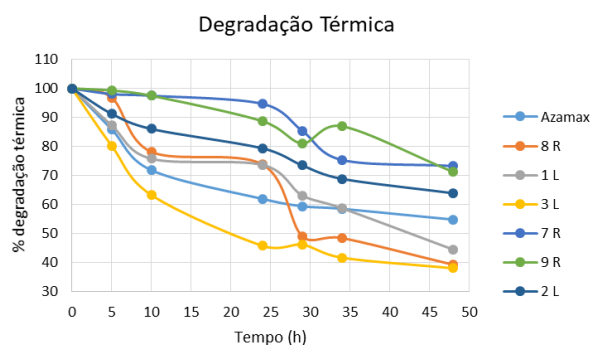


Figura 2. Degradação térmica do Azamax e suspensão coloidal.

As nanosuspensões coloidais apresentaram variações na degradação térmica, amostras 1 L, 2 L e 8 R, apresentaram alto valor de degradação, superior a 50 % (m/m), após 48 horas. Já as amostras 2 L, 7 R, e 9 R, a taxa de degradação ficou inferior a 36 % (m/m), mostrando que estão interferindo na proteção da degradação térmica do princípio ativo Azadiractina.

Nos ensaios de degradação fotoquímica as mesmas amostras da degradação térmica foram analisadas e também o Azamax protegido da radiação UV. As amostras foram expostas por um período de 120 horas

A variação da degradação, Figura 3., foi de 53 a 9%, sendo que a amostra que menos degradou foi o óleo comercial protegido de radiação, enquanto que o não protegido apresentou uma degradação bem considerável, em torno de 87%. A atividade da Azadiractina, presente no óleo de Nim, pode ser reduzida até 60 %, quando exposta a 4 horas ao sol [9]. A diferença entre o óleo protegido e não protegido foi de aproximadamente 20%.

As amostras de suspensão, 7 R e 9 R, foram as que tiveram melhores resultados em relação a fotodegradação, ficaram entre 40 e 35% de degradação, entre o Azamax e o Azamax protegido. Isso pode indicar que tanto para o polímero PLA, como o PCL, poderiam desempenhar algum tipo de fotoproteção.

D. Estabilidade de Suspensões Coloidais

As suspensões coloidais foram analisadas em diferentes temperaturas de armazenamento e avaliado os comportamentos. Os ensaios foram analisados na variação de pH e % EE, no início e após 6 meses (Tab. 3).

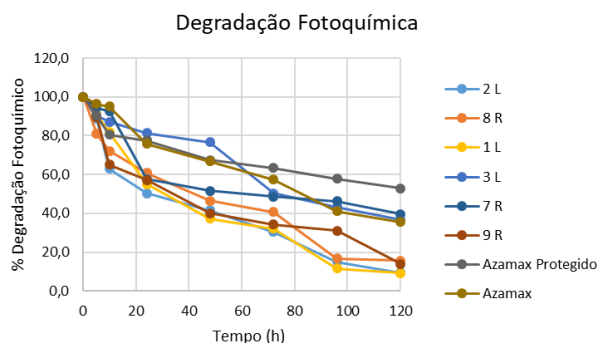


Figura 3. Degradação fotoquímica do Azamax e suspensão coloidal.

Tabela 3. Estabilidade das Suspensões Coloidais

Formulações	Varição pH	Varição % EE
PLA / 20 °C	0,35	0
PLA / 4 °C	0,44	0
PLA / -20 °C	0,51	0
PCL / 20 °C	0,67	23,15
PCL / 4 °C	1,17	7,54
PCL / -20 °C	0,37	8,42

As amostras em que foi utilizado o PLA na formulação não ocorreu a diminuição da % EE e ocorreu uma pequena variação de pH. Já nas formulações com PCL observou-se que a % EE diminui após 6 meses e a variação de pH foi bem expressiva quando mantida a 4 °C.

Ao realizar uma observação visual das amostras, quando mantidas em -20 °C ao serem descongeladas, ocorre a formação de precipitados. Enquanto que na temperatura de 20 °C, observa-se o crescimento de microorganismos.

O pH não apresentou muita variação entre as formulações, porém é de extrema importância para o acompanhamento da estabilidade das suspensões. A degradação dos polímeros biodegradáveis PLA e PCL, pode ser percebida através de variações em seu pH, já que este polímeros após iniciarem a degradação liberam na suspensão coloidal ácido lático e ácido 6-hidroxi capríco, respectivamente. Porém como são ácidos fracos a variação de pH normalmente apresenta uma pequena variação, em torno de 0,8.

E. Preparação de Cápsulas em pó por Spray Dryer e Liofilização

Após a caracterização as melhores suspensões coloidais foram secas por liofilização e spray dryer, as amostras escolhidas foram, 7 R e 9 R. Estas amostras foram secas com solução do adjuvante SiO₂ 3 %, adicionadas as formulações na razão de nanosuspensão por solução de adjuvante, 0,5. Após secas as amostras foram caracterizadas com relação ao rendimento e concentração de Azadiractina presente no pó. A Tabela 4, estão representados os valores encontrados.

Tabela 4. Rendimento e doseamento de Azadiractina em pó.

Amostras	Secagem	Rendimento (%)	Doseamento (mg kg ⁻¹)
7R	Liofilização	49,6	465,2
	Spray Dryer	56,6	649,4
9R	Liofilização	32,1	415,58
	Spray Dryer	29,9	375,2

A secagem apresentam valores próximos, tanto para o rendimento como para o doseamento, porém é visível que as amostras secas em spray dryer apresentam uma granulometria menor.

As amostras secas por spray dryer foram analisadas, por MEV (Fig. 4) com o objetivo de verificar a morfologia das nanocápsulas. Observa-se que obteve-se uma variação de tamanhos maiores e as partículas não apresentam a mesma uniformidade observada nas análises por DLS. Isso se deve a

aglomeração que ocorre quando as amostras estão sendo secas [5].

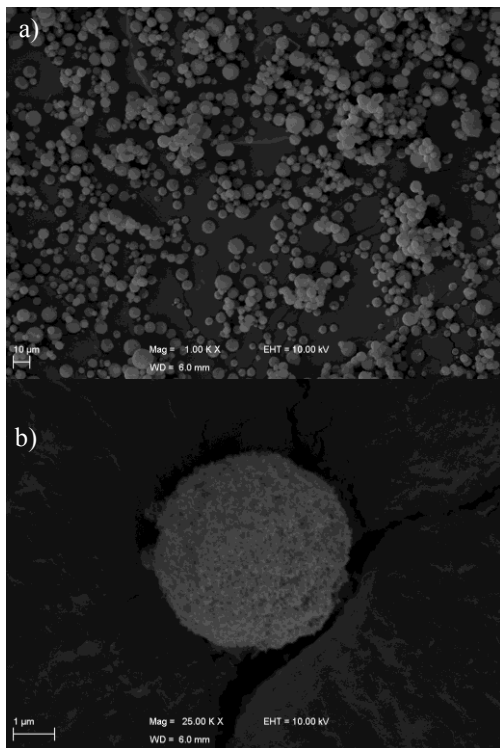


Figura 4. Imagem de MEV da amostra sintetizada com PLA e secas com SiO₂, a) aumento de 1000x e b) aumento de 25000x.

As amostras encapsuladas com polímero PLA apresentaram morfologia esférica após a secagem com o auxílio do adjuvante em spray dryer. E seu tamanho passou para a escala micrometros, característica já comentadas [4].

IV. CONCLUSÃO

Os resultados descritos neste trabalho mostram que foi possível o nanoencapsulamento do óleo comercial Azamax, para os dois polímeros testados, PLA e PCL. As melhores formulações foram 0,2 % de polímero e 0,2 % de surfactantes, rotaevaporadas. As formulações quando em suspensão coloidal apresentaram tamanhos entre 200 e 300 nm e após a secagem por spray dryer passaram para escala micrométrica.

Os polímeros apresentam pouca proteção a termo e fotodegradação e a estabilidade das amostras de PLA ao longo de seis meses é melhor que o PCL.

O redimento e o doseamento de Azadiractina foram considerados baixos, necessitando novos testes alterando as razões de suspensão coloidal e soluções de SiO₂ 3%.

AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos a CAPES, CNPq, a Univates (Tecnovates) e PUCRS (Laboratório de Química Analítica e Ambiental).

REFERÊNCIAS

- [1] BANCO MUNDIAL. World Development Indicators Database. Total GDP 2017. World Bank, 2017. Disponível em: <<https://data.worldbank.org/indicador/SP.POP.TOTL>> Acesso em: 26 agosto 2018.
- [2] V. Ghoemad, M. V. Deshpande, K. M. Pakinikar, "Perspectives for nano-biotechnology enabled protection and nutrition of plants, *Biotechnology Advances*, vol. 29, pp. 792-803, 2011.
- [3] P. C. Balaure, D. Gudovan, I. Gudovan, "Nanopesticides: A new paradigm in crop proection" *New pesticides and soil sensors*, cap 4, pp. 129 – 192, 2017.
- [4] M. R. Forim, E. S. Costa, M. F. G. F. da Silva, J. B. Fernandes, J. M. Mondego, A. L. B. Junior, "Development of a New Method To Prepare Nano-/microparticles Loaded with Extracts of *Azadirachta indica*, Their Characterization nad Use in Controlling *Plutella xylostella*," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 61, pp. 9131-9139, 2013I. S. Jacobs and C. P. Bean, "Fine particles, thin films and exchange anisotropy," in *Magnetism*, vol. III, G. T. Rado and H. Suhl, Eds. New York: Academic, 1963, pp. 271–350.
- [5] H. Fessi, F. Puisieux, J. Ph. Devissoguet, N. Ammoury, S. Benita, "Nanocapsules formation by interfacial polymer deposition following solvent displacement", *International Journal of Pharmaceutics*, vol. 55, pp. R1-R4, 1989.
- [6] H. Fessi. Paris, França. Procédé de préparation de sstemés coll"i"daux sispersibles d'une substance, sous forme de nanocapsules . In C14: Bo1J 13/02; A61k 9/50. Dep. FR87402998-6. 28 dez. 1987. 20 jul.1988. Centre National de la Recherche Scientifique. França.
- [7] E. S. COSTA, "Nano-microencapsulados de extrato de *Azadirachta Indica* usando ligninas de bagaço de cana-de-açúcar: estabilidade e eficácia contra insetos pragas". São Paulo. 2014. 140 p. Tese (Doutorado em Ciências). Universidade Federal de São Carlos, Brasil.
- [8] S. R. Schaffazick e S. S. Guterres, "Caracterização e estabilidade físico-química de sistemas poliméricos nanoparticulados para administração de fármacos", *Química Nova*, vol. 26, pp. 726-737, 2003.
- [9] S. S. MARTINEZ "O nim – *Azadirachta indica*: natureza, usos múltiplos, produção", Instituto Agrônômico do Paraná. pp. 142, 2002.

Identificação das pesquisas *stricto sensu* sobre metodologias de aprendizagem ativa na pós-graduação brasileira de 2012 a 2017

Carolina Maia dos Santos
Centro Federal de Educação
Tecnológica Celso Suckow da Fonseca
(CEFET/RJ)
Rio de Janeiro, Brasil
cmaias@ymail.com

Fernanda Abreu de Moraes Figueiredo
Centro Federal de Educação
Tecnológica Celso Suckow da Fonseca
(CEFET/RJ)
Rio de Janeiro, Brasil
fernandaabreu@id.uff.br

Alexandre de Carvalho Castro
Centro Federal de Educação
Tecnológica Celso Suckow da Fonseca
(CEFET/RJ)
Rio de Janeiro, Brasil
o.aken@uol.com.br

Resumo—O chamado modelo tradicional de ensino, que enfatiza a centralidade do professor e a memorização de conteúdos, desconsidera o aluno como um sujeito histórico e não mais se adequa a realidade do século XXI. Neste sentido, as metodologias de aprendizagem ativa tornam-se uma possibilidade de modificar a perspectiva pedagógica em prol de uma formação que desenvolva diferentes habilidades e competências e transforme o aluno em um ser mais participativo em seu processo de ensino-aprendizagem. Para isto, torna-se relevante conhecer os principais polos de estudo de mestrado e doutorado no tocante ao tema, afinal é esta uma das atividades que permitirá o advento e uma maior inserção do assunto em novas investigações. Por conseguinte, o objetivo deste artigo consiste em analisar as teses e dissertações brasileiras produzidas nos anos de 2012 a 2017, identificando as principais áreas do conhecimento e instituições de ensino que desenvolvem pesquisas sobre metodologias de aprendizagem ativa. Dessa forma, as análises foram feitas baseando-se em seis classificações: 1. Subtipo de produção associado ao grau acadêmico (dissertação – mestrado acadêmico e mestrado profissional e tese); 2. Região do país; 3. Unidade da federação; 4. Entidade de ensino; 5. Grande área de conhecimento; 6. Área de conhecimento. Notou-se uma difusão maior de trabalhos em forma de dissertações, privilegiando-se os mestrados profissionais aos mestrados acadêmicos. A Região Sudeste foi a que mais contribuiu com as discussões, tendo, a nível de país, o estado de São Paulo e as entidades de ensino UFF e USP/EEL como os mais atuantes em número de pesquisas. Constatou-se uma maior concentração na grande área de conhecimento representada pela categoria Multidisciplinar enquanto que o Ensino foi a área de conhecimento com mais estudos no ramo. Para finalizar, deixa-se, ainda, sugestões de investigações futuras.

Palavras-chave—metodologias de aprendizagem ativa, pós-graduação, áreas de conhecimento.

I. INTRODUÇÃO

Para o século XXI, as tendências educacionais apontam que as formações oferecidas pelas instituições de ensino precisam estar alinhadas aos pilares do “aprender a conhecer”, “aprender a fazer”, “aprender a conviver” e “aprender a ser” [1]. Para isto, seria necessário realizar algumas mudanças no sistema educacional que estariam além da mera atualização de currículos. Seria preciso transformar o modelo de ensino-aprendizagem em vigor nas salas de aula que, na maioria das vezes, estrutura-se no chamado modelo tradicional o qual enfatiza a centralidade do professor e a memorização de conteúdos. Neste cenário, a utilização de metodologias de aprendizagem ativa torna-se uma possibilidade de modificar a perspectiva pedagógica visto que estas permitem uma maior interação e participação do aluno em seu processo de ensino-aprendizagem. Para isto, torna-se relevante conhecer os principais polos de estudo a

nível de pós-graduação sobre o tema, afinal é esta uma das atividades que permitirá o desenvolvimento e uma maior inserção do assunto em novas investigações. Desta maneira, o objetivo consiste em analisar as teses e dissertações brasileiras produzidas nos anos de 2012 a 2017 identificando as principais áreas do conhecimento e instituições de ensino que examinam metodologias de aprendizagem ativa.

II. JUSTIFICATIVA

Durante muitos anos, em todos os segmentos da educação, predominou-se o chamado modelo de ensino tradicional também denominado por Paulo Freire como educação bancária. Segundo ele, nesta perspectiva, o ato educacional baseia-se em um processo de depósito de informação no qual o aluno, mero receptor, apenas precisa receber, memorizar, repetir e guardar o que foi passado pelo professor, pois este é a autoridade e o sábio que narra conteúdos em sala de aula. Como único detentor do saber, ele, o mestre, deve preencher o vazio de seus alunos com “conteúdos que são retalhos da realidade desconectados da totalidade” [2] sem direito a diálogos entre as partes. Baseando-se em transmissões de informações, a educação bancária anula completamente o poder criador humano estimulando a passividade e não a criticidade. Este modelo de ensino-aprendizagem desconsidera os conhecimentos que os alunos já possuem e levam consigo para a escola. Desse jeito, os diferentes níveis do sistema educacional acabam instaurando uma cultura de obediência e submissão uma vez que a formação oferecida nas escolas se preocupa mais com conteúdos memorizados do que com outros aspectos como a capacidade de raciocínio.

Apesar disso, há muito tempo, vários estudiosos já informavam a necessidade de mudanças nas salas de aula. As ideias de aprendizagem pelo condicionamento de Montessori, a aprendizagem por experiência de Frenet, as teorias de aprendizagem de Piaget e Vygotsky, a aprendizagem significativa de David Ausubel e o construtivismo de Michael Foucault são alguns destes [3].

Na atualidade, esta situação é agravada com a difusão cada vez maior da internet e a inserção das tecnologias no cotidiano das pessoas. A partir destes aparelhos, os educandos são capazes de acessar uma quantidade ainda maior de informações enquanto a escola permanece desconsiderando o aluno como um sujeito histórico trabalhando com suas atividades descontextualizadas do mundo real. Nesse cenário no qual os estudantes mostram-se cada vez mais desestimulados, a utilização de metodologias ativas torna-se uma possibilidade de transformar essa realidade ao permitir que os educandos possam interagir

mais, aprender com os outros e, assim, atuar de forma mais ativa em seu processo de aprendizagem.

III. A PESQUISA *STRICTO SENSU*

A pós-graduação brasileira pode ser do tipo *lato sensu* ou *stricto sensu*. Enquanto aquele se refere aos cursos de especialização os quais possuem um sentido mais prático-profissional, este abrange os cursos de mestrado e doutorado que apresentam uma característica mais acadêmica e científica [4]. Segundo a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) [4], há três objetivos que justificam a necessidade do oferecimento de mestrados e doutorados eficientes e de alta qualidade no país: 1. A formação de professorado competente que possa atender a demanda nos ensinos básico e superior garantindo, ao mesmo tempo, a constante melhoria da qualidade; 2. O estímulo ao desenvolvimento da ciência por meio da preparação adequada de pesquisadores; 3. O treinamento eficaz de técnicos e trabalhadores intelectuais do mais alto padrão para fazer face às necessidades do desenvolvimento nacional em todos os setores. Em vista disso, o trabalho e a formação desenvolvida nestes cursos bem como as pesquisas realizadas são demasiadamente importantes para a qualificação de pessoal e também para o desenvolvimento científico do país.

IV. AS METODOLOGIAS DE APRENDIZAGEM ATIVA

Algumas metodologias de aprendizagem ativa podem ser bem diferentes entre si e exigir distintos níveis de ação por parte dos alunos e professores. Outras ainda podem ter um caráter mais cooperativo ou requerer uma posição mais colaborativa [3]. Apesar disso, a ideia central destas metodologias é permitir que o foco do processo de aprendizagem passe do professor para o aluno. Assim, a atividade pedagógica apoiada em metodologias ativas possibilita que o educando tenha uma aprendizagem mais significativa, além de auxiliar o trabalho com a inclusão e a diversidade uma vez que estas metodologias consideram as necessidades dos alunos e o aprendizado passa a exigir pesquisa, colaboração, discussão, avaliação de situações e pontos de vista diferentes, reflexão, síntese e tantos outros aspectos. As metodologias de aprendizagem ativa estimulam o desenvolvimento de habilidades e competências, por vezes, desconsideradas no modelo tradicional como competências sociais, pessoais, intelectuais, emocionais e comunicacionais [5] e podem possibilitar atividades pedagógicas mais relacionadas ao “aprender a conhecer”, “aprender a fazer”, “aprender a conviver” e “aprender a ser”. O livro didático também perde centralidade e cede espaço, por exemplo, aos recursos tecnológicos que podem potencializar o aprendizado se integrados de forma adequada à perspectiva pedagógica já que apenas disponibilizar os recursos não é sinônimo de melhoria [5]. Nesse cenário, há uma mudança completa da sala de aula e também da posição dos seus principais atores. O educando precisará agir e participar mais enquanto o docente atuará como um facilitador do aprendizado. Deve-se ressaltar que a figura do professor se torna ainda mais importante no trabalho com metodologias ativas já que este será o responsável por planejar e conduzir as atividades adequadas para cada aula e conteúdo.

V. METODOLOGIA DE PESQUISA

Para realizar o levantamento do panorama brasileiro a nível de pós-graduação sobre metodologias de aprendizagem ativa, usam-se artifícios quantitativos e qualitativos a fim de identificar a origem e as características das teses e dissertações desenvolvidas de 2012 a 2017. Esta obra ainda é considerada exploratória, visto que proporciona um maior conhecimento do problema; bibliográfica, por examinar dados de um assunto tratado com base em dissertações e teses publicadas de 2012 a 2017; e descritiva, uma vez que permite que se chegue a descrição de determinadas relações ou variáveis entre fenômenos, retratando características de indivíduos, eventos ou situações [6].

Os dados utilizados foram extraídos da Plataforma Sucupira, portal eletrônico da CAPES e do Ministério da Educação (MEC) que armazena e permite a coleta de informações a respeito do Sistema Nacional de Pós-Graduação (SNPG) [7]. Eles foram obtidos em arquivos separados por ano e, através da utilização do termo “metodologia ativa” em cada um destes, foram separadas as teses e dissertações com esta expressão no título do trabalho, nas palavras-chave ou no resumo.

Para ter uma visão crítica do perfil das pesquisas que foram realizadas no âmbito *stricto sensu*, partiu-se do raciocínio dedutivo, apresentando-se desde uma classificação mais ampla até o nível mais particular que os dados coletados permitissem. Destarte, as análises foram feitas baseando-se em seis classificações: 1. Subtipo de produção associado ao grau acadêmico (dissertação – mestrado acadêmico e mestrado profissional e tese); 2. Região do país; 3. Unidade da federação; 4. Entidade de ensino; 5. Grande área de conhecimento; 6. Área de conhecimento.

VI. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A. Subtipo de produção associado ao grau acadêmico

Depreende-se da Tabela I que, de 2012 a 2017, foram realizadas 77 pesquisas que abordaram de algum modo metodologias de aprendizagem ativa em seu escopo.

TABELA I. Quantitativo por subtipo de produção associado ao grau acadêmico

		2012	2013	2014	2015	2016	2017	TOTAL
DIS- SERTAÇÃO	Mestrado Acadêmico	2	0	3	2	3	18	28
	Mestrado Profissional	0	2	2	4	15	17	40
TESE	Doutorado	1	0	2	4	1	1	9
TOTAL		3	2	7	10	19	36	77

Fonte: Elaborada pelos autores.

Nota-se uma tendência de crescimento em estudos nesse contexto ao longo dos anos, excetuando-se uma redução pouco significativa ocorrida de 2012 para 2013. Portanto, espera-se que mais estudiosos no país discutam acerca das formas de enriquecer o aprendizado com ampliação da participação do aluno.

Há a predominância desse tópico nas dissertações, correspondendo a 68 apurações dentro de 77 vistas,

possuindo exclusivamente 9 projetos em formato de teses.

Destacam-se os mestrados profissionais para a discussão do tema, pois essa modalidade representa 40 reflexões enquanto ocorrem 28 no mestrado acadêmico.

B. Região do país

A Tabela II traz à tona a importância econômica da Região Sudeste para o Brasil com 41 estudos, representando 53,25% do total do período analisado. A região foi a única que teve contribuições científicas com referência a metodologias ativas em todos os anos de 2012 a 2017 apresentando, ainda, um grande crescimento no último ano analisado.

TABELA II. Quantitativo por região do país

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TOTAL
NORTE	0	0	0	0	1	1	2
NORDESTE	0	1	3	3	3	5	15
CENTRO-OESTE	0	0	1	0	1	2	4
SUL	1	0	0	3	3	8	15
SUDESTE	2	1	3	4	11	20	41
TOTAL	3	2	7	10	19	36	77

Fonte: Elaborada pelos autores.

As regiões Nordeste e Sul tiveram o mesmo desempenho em número com 15 estudos ao passo que as regiões Norte e Centro-Oeste registraram menos fontes na mesma faixa de tempo, sendo 2 e 4, respectivamente.

Desde 2016, existem trabalhos em todas as regiões relativos ao tópico, demonstrando, talvez, o aumento da percepção de sua relevância.

C. Unidades federativas (UF)

Quanto à distribuição por UF, repara-se que São Paulo (SP) oferta 32,47% de estudos com esse mote à medida que Rio de Janeiro (RJ) responde por 12,99%, sendo ambas as unidades federativas com maior incidência de pesquisas de metodologias ativas.

Cabe ressaltar que, em 2012, as análises estavam distribuídas em São Paulo e Santa Catarina (SC) como pode ser visualizado na Tabela III, em contrapartida, em 2013, Alagoas (AL) e Rio de Janeiro foram os únicos a comentar o assunto. A partir de 2014, mais UF discutiram o tema.

Amazonas (AM), Pará (PA) e Distrito Federal (DF) integram o grupo de locais que contêm somente um estudo durante todo o período sondado de 6 anos. Percebe-se, ainda, que em algumas unidades federativas não há pesquisas em nível de pós-graduação *stricto sensu* sobre metodologias de aprendizagem ativa.

D. Entidade de ensino

Na Tabela IV, constata-se a existência de 2 universidades na Região Norte com trabalhos nesse eixo temático, a saber: a Universidade Federal do Amazonas (UFAM) e a Universidade do Estado do Pará (UEPA), tendo cada uma delas um único estudo.

Ao examinar a Tabela V, identificam-se 9 entidades de ensino na Região Nordeste que discutiram metodologias ativas no ambiente acadêmico, sendo a Fundação

Universidade Federal de Sergipe (FUFSE) com o maior número de pesquisas no ramo.

TABELA III. Quantitativo por unidade da federação

UF	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TOTAL
AM	0	0	0	0	1	0	1
PA	0	0	0	0	0	1	1
AL	0	1	0	0	0	1	2
BA	0	0	0	1	0	1	2
CE	0	0	0	0	2	0	2
PE	0	0	0	2	1	1	4
RN	0	0	0	0	0	2	2
SE	0	0	3	0	0	0	3
DF	0	0	0	0	0	1	1
GO	0	0	1	0	1	1	3
PR	0	0	0	1	0	5	6
RS	0	0	0	1	2	2	5
SC	1	0	0	1	1	1	4
MG	0	0	2	0	2	2	6
RJ	0	1	1	0	5	3	10
SP	2	0	0	4	4	15	25
TOTAL	3	2	7	10	19	36	77

Fonte: Elaborada pelos autores.

TABELA IV. Quantitativo por entidade de ensino na Região Norte

SIGLA	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TOTAL
UEPA	0	0	0	0	0	1	1
UFAM	0	0	0	0	1	0	1
TOTAL	0	0	0	0	1	1	2

Fonte: Elaborada pelos autores.

Na Região Centro-Oeste, 3 universidades versam sobre o assunto, destacando-se a PUC-GOÍÁS como indica a Tabela VI. Apesar disso, a UFG aparece como a instituição mais antiga a tratar sobre metodologias de aprendizagem ativa na região.

A Tabela VII expressa 10 representações da academia na Região Sul que tecem discussões a respeito de metodologias ativas, tendo empates em importância Faculdades Pequeno Príncipe (FPP), Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC/PR), Universidade Federal do Paraná (UFPR), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI).

É válido frisar que, em 2017, apenas a Universidade de Caxias do Sul (UCS), a Fundação Universitária Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre (UFCSPA), a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e a UNIVALI não fizeram pesquisas na área apesar de já terem desenvolvido investigações em anos anteriores.

IV Congresso Ibero-Americano de Empreendedorismo, Energia, Ambiente e Tecnologia

TABELA V. Quantitativo por entidade de ensino na Região Nordeste

SIGLA	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TOTAL
FG ¹	0	0	0	0	0	1	1
FPS ²	0	0	0	1	1	0	2
FUFSE ³	0	0	3	0	0	0	3
UECE	0	0	0	0	2	0	2
UEFS ⁴	0	0	0	1	0	0	1
UESC ⁵	0	0	0	0	0	1	1
UFAL	0	1	0	0	0	1	2
UFPE	0	0	0	1	0	0	1
UFRN	0	0	0	0	0	2	2
TOTAL	0	1	3	3	3	5	15

Legenda: ¹ Centro Universitário dos Guararapes (FG); ² Faculdade Pernambucana de Saúde (FPS); ³ Fundação Universidade Federal de Sergipe (FUFSE); ⁴ Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS); ⁵ Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC).

Fonte: Elaborada pelos autores.

TABELA VI. Quantitativo por entidade de ensino na Região Centro-Oeste

SIGLA	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TOTAL
PUC-GOIÁS	0	0	0	0	1	1	2
UFG	0	0	1	0	0	0	1
UNB	0	0	0	0	0	1	1
TOTAL	0	0	1	0	1	2	4

Fonte: Elaborada pelos autores.

TABELA VII. Quantitativo por entidade de ensino na Região Sul

SIGLA	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TOTAL
FPP ¹	0	0	0	0	0	2	2
PUC/PR	0	0	0	0	0	2	2
UCS ²	0	0	0	1	0	0	1
UFCSPA ³	0	0	0	0	1	0	1
UFPR	0	0	0	1	0	1	2
UFRGS ⁴	0	0	0	0	1	0	1
UFSC	0	0	0	0	1	1	2
UFSM ⁵	0	0	0	0	0	1	1
UNISINOS ⁶	0	0	0	0	0	1	1
UNIVALI ⁷	1	0	0	1	0	0	2
TOTAL	1	0	0	3	3	8	15

Legenda: ¹ Faculdades Pequeno Príncipe (FPP); ² Universidade de Caxias do Sul (UCS); ³ Fundação Universitária Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre (UFCSPA); ⁴ Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS); ⁵ Universidade Federal de Santa Maria (UFSM); ⁶ Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS); ⁷ Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI).

Fonte: Elaborada pelos autores.

Existem 28 instituições de ensino que discorreram sobre a questão em suas pesquisas na Região Sudeste segundo a Tabela VIII. Esta região foi a que apresentou

mais conhecimento difundido (maior número de trabalhos), além de ser pulverizado em várias universidades distintas.

TABELA VIII. Quantitativo por entidade de ensino na Região Sudeste

SIGLA	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TOTAL
CUML ¹	0	0	0	0	0	1	1
FAMEMA ²	0	0	0	0	0	1	1
FEI ³	0	0	0	0	0	1	1
FPL ⁴	0	0	0	0	0	1	1
IEP ⁵	0	0	0	1	0	0	1
IFSP ⁶	0	0	0	0	1	0	1
PUC-RIO	0	0	0	0	0	1	1
PUC/SP	1	0	0	2	1	0	4
UFABC ⁷	0	0	0	0	0	1	1
UFF	0	1	0	0	2	2	5
UFJF ⁸	0	0	0	0	1	0	1
UFSCAR	0	0	0	0	0	1	1
UFU ⁹	0	0	0	0	0	1	1
UFV ¹⁰	0	0	0	0	1	0	1
UFVJM ¹¹	0	0	1	0	0	0	1
UMC ¹²	0	0	0	0	0	1	1
UNICAMP	0	0	0	0	0	1	1
UNICAMP/PI	0	0	0	0	0	1	1
UNIFAE – SP ¹³	0	0	0	0	1	0	1
UNIFEI ¹⁴	0	0	1	0	0	0	1
UNIFESP	1	0	0	0	0	0	1
UNIGRANRIO	0	0	1	0	0	0	1
UNIRIO	0	0	0	0	2	0	2
UNISA ¹⁵	0	0	0	0	0	1	1
UNISUAM	0	0	0	0	1	0	1
UNOESTE ¹⁶	0	0	0	0	0	1	1
USP	0	0	0	1	1	0	2
USP/EEL	0	0	0	0	0	5	5
TOTAL	2	1	3	4	11	20	41

Legenda: ¹ Centro Universitário Moura Lacerda (CUML); ² Faculdade de Medicina de Marília (FAMEMA); ³ Centro Universitário da Fundação Educacional Inaciana "Padre Sabóia de Medeiros" (FEI); ⁴ Faculdade Pedro Leopoldo (FPL); ⁵ Instituto Sírio-Libanês de Ensino e Pesquisa (IEP); ⁶ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP); ⁷ Universidade Federal do ABC (UFABC); ⁸ Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF); ⁹ Universidade Federal de Uberlândia (UFU); ¹⁰ Universidade Federal de Viçosa (UFV); ¹¹ Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM); ¹² Universidade de Mogi das Cruzes (UMC); ¹³ Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino – FAE (UNIFAE-SP); ¹⁴ Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI); ¹⁵ Universidade de Santo Amaro (UNISA); ¹⁶ Universidade do Oeste Paulista (UNOESTE).

Fonte: Elaborada pelos autores.

A Universidade Federal Fluminense (UFF) e a Escola de Engenharia de Lorena (USP/EEL) sobressaem-se por possuírem 5 trabalhos, sendo esta a maior contagem por

entidade de ensino na Região Sudeste. A Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC/SP) também merece destaque, pois detém 4 pesquisas.

É apropriado mencionar que, se for desconsiderada a descentralização das universidades quanto ao lugar em que estão instaladas, a Universidade de São Paulo apresentará maior relevância na região de forma isolada por totalizar 7 discussões sobre o assunto ao se unirem os números expressos pela USP e USP/EEL

A Pontifícia Universidade Católica alcança a representação de 5 trabalhos se for usado o mesmo raciocínio e serem reunidas as pesquisas realizadas tanto pela PUC-Rio quanto pela PUC/SP.

E. Grande área de conhecimento

Na estratificação assinalada nos dados coletados, distinguem-se 7 grandes áreas de conhecimento que incluem metodologias ativas como tema de estudo conforme indicado na Tabela IX.

TABELA IX. Quantitativo por grande área de conhecimento

GRANDE ÁREA	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TOTAL
Ciências da Saúde	1	1	4	3	2	7	18
Ciências Exatas e da Terra	0	0	0	0	5	3	8
Ciências Humanas	1	0	0	1	2	4	8
Ciências Sociais e Aplicadas	1	0	1	1	1	5	9
Engenharias	0	0	1	1	1	1	4
Linguística, Letras e Artes	0	0	0	0	0	1	1
Multidisciplinar	0	1	1	4	8	15	29
TOTAL	3	2	7	10	19	36	77

Fonte: Elaborada pelos autores.

Multidisciplinar e Ciências da Saúde são as grandes áreas com maior número de estudos, sendo 29 e 18, respectivamente. Inclusive, Ciências da Saúde foi a única a ter textos em todos os anos, sendo que Multidisciplinar só não teve trabalhos em 2012. A predominância de discussões sobre metodologias ativas no segmento da área de saúde já é uma constatação relatada na literatura [1].

Linguística, Letras e Artes caracterizam as grandes áreas com menos pesquisas usando esse tópico.

F. Área de conhecimento

Seguindo a divisão das áreas informadas nas planilhas extraídas para este estudo, observa-se a preponderância da área de Ensino com 20 escritos (Tabela X), representando a magnitude de 25,97% do total encontrado. As áreas seguintes mais abordadas são, em segundo lugar, Interdisciplinar com 9 documentos (11,69%), empatados, em terceiro lugar, as áreas de Administração, Educação e Enfermagem com 7 trabalhos (9,09%) e Medicina, em quarto lugar, com 6 obras (7,79%).

Agrupando áreas com nuances similares, chega-se à marca de 27 pesquisas sobre metodologias ativas em Educação e Ensino e a 18 das Ciências da Saúde, vistas

anteriormente na Tabela IX, sendo distribuídas na Tabela X entre 7 de Enfermagem, 1 de Farmácia, 6 de Medicina, 2 de Odontologia e 2 de Saúde Coletiva.

Administração e Ensino foram as áreas que deixaram de explorar o assunto de metodologias ativas apenas em um dos anos analisados, não tendo trabalho de Administração em 2013 e nenhum de Ensino em 2012.

TABELA X. Quantitativo por área de conhecimento

ÁREA	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TOTAL
Administração	1	0	1	1	1	3	7
Ciência da Computação	0	0	0	0	1	0	1
Ciências Ambientais	0	0	0	0	1	0	1
Comunicação	0	0	0	0	0	1	1
Desenho Industrial	0	0	0	0	0	1	1
Educação	1	0	0	1	1	4	7
Enfermagem	1	1	0	0	2	3	7
Engenharia de Produção	0	0	1	0	1	0	2
Engenharia Elétrica	0	0	0	0	0	1	1
Ensino	0	1	1	3	4	11	20
Farmácia	0	0	0	1	0	0	1
Física	0	0	0	0	2	2	4
História	0	0	0	0	1	0	1
Interdisciplinar	0	0	0	2	3	4	9
Linguística	0	0	0	0	0	1	1
Matemática	0	0	0	0	2	1	3
Medicina	0	0	3	1	0	2	6
Odontologia	0	0	0	0	0	2	2
Saúde Coletiva	0	0	1	1	0	0	2
TOTAL	3	2	7	10	19	36	77

Fonte: Elaborada pelos autores.

VII. CONCLUSÃO

Identifica-se a hegemonia do tema de metodologias de aprendizagem ativa nas dissertações de mestrado, prevalecendo-se o assunto nos mestrados profissionais aos mestrados acadêmicos. As teses de doutorado não possuem o hábito de tratar tal debate com tanta frequência.

A Região Sudeste costuma se atentar mais a esse assunto, tendo como atores principais a UFF e a USP/EEL. As regiões Nordeste e Sul ficam em segundo lugar no tocante à apreciação desse ponto, sendo a FUFSE a entidade de ensino com mais trabalhos na Região Nordeste enquanto que FPP, PUC/PR, UFPR, UFSC e UNIVALI são os protagonistas com o mesmo peso na Região Sul. A Região Centro-Oeste enquadra-se na terceira posição de importância no país,

sendo bem representada pelas discussões do tema pela PUC-GOIÁS. A Região Norte é a mais escassa em matérias atreladas a metodologias ativas, tendo a UEPA e a UFAM como instituições representantes.

Quanto às unidades da federação, as pesquisas sobre esse assunto estão concentradas, principalmente, em São Paulo, seguido pelo Rio de Janeiro em relevância.

As grandes áreas de conhecimento que registram mais textos nessa concepção são Multidisciplinar e Ciências da Saúde e as áreas de conhecimento que mais dão importância para pesquisas nesse ramo são Ensino, em primeiro lugar, sendo sucedido por Interdisciplinar.

Como sugestões de investigações futuras, podem ser feitas análises do mesmo período de tempo trabalhando-se as especificidades de quais técnicas de metodologias ativas foram estudadas, assim como pormenores de quantitativo de entidades de ensino públicas e privadas de modo que se compare a disseminação do conhecimento entre as regiões do país a respeito dessa temática.

Além disso, é importante a construção de um diagnóstico de redes a fim de perceber se existem polos de estudo (unidades da federação, entidades de ensino e pesquisadores) que tenham foco nessa abordagem sendo, logo, referências e potenciais estudiosos a serem acompanhados de perto no tocante a tal assunto.

REFERÊNCIAS

- [1] M. R. F. Paiva, J. R. F. Parente, I. R. Brandão e A. H. B. Queiroz, “Metodologias ativas de ensino aprendizagem: Revisão integrativa”, SANARE, Sobral, v. 15, n. 02, p. 145-153, 2016.
- [2] P. Freire, “Pedagogia do oprimido”, 17ª ed., Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987.
- [3] F. L. Lovato, A. Michelotti, C. B. da Silva e E. L. S. Loretto, “Metodologias ativas de aprendizagem: Uma breve revisão”, Acta Scientiae, Canoas, v. 20, n. 02, p. 154-171, 2018.
- [4] Ministério da Educação (MEC). Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), “Mestrado e Doutorado: O que são?”, 2014. Disponível em: <<http://capes.gov.br/avaliacao/sobre-a-avaliacao/mestrado-e-doutorado-o-que-sao>>. Acesso em: 27 ago. 2018.
- [5] C. M. dos Santos e F. A. de M. Figueiredo, “Estudos sobre metodologias de aprendizagem ativa na engenharia publicados nos anais do ENEGEP de 2013 a 2017: Análise do perfil acadêmico e instituições de origem dos autores”, In: XXXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2018, Maceió. *Anais...ABEPRO*, 2018 [no prelo].
- [6] R. BIROCHI, “Metodologia de estudo e pesquisa em administração”, Programa Nacional de Formação em Administração Pública. Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração/ UFSC; [Brasília]: CAPES: UAB, 2015.
- [7] Ministério da Educação (MEC). Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), “Plataforma Sucupira”, 2014. Disponível em: <<http://www.capes.gov.br/avaliacao/plataforma-sucupira>>. Acesso em: 27 ago. 2018.

CARNEIRO HIDRÁULICO E O SEU POTENCIAL PARA O PROCESSO DE DESSALINIZAÇÃO POR OSMOSE REVERSA

Gustavo da Silva Correia
Centro Federal de Educação Tecnológica
Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ)
campus: Angra dos Reis
Angra dos Reis-RJ, Brasil
gustavodscorreia@hotmail.com

Emanuel Lopes da Cruz Saldanha
Centro Federal de Educação Tecnológica
Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ)
campus: Angra dos Reis
Angra dos Reis-RJ, Brasil
emmanusal@gmail.com

Amilton Ferreira da Silva Junior
Centro Federal de Educação Tecnológica
Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ)
campus: Valença
Valença-RJ, Brasil
amilton.junior@cefet-rj.br

Resumo— Um dos principais problemas que afetam o planeta terra é a falta de água potável. Embora o Brasil seja bem servido de recursos hídricos, boa parte do planeta é privada de fontes de água para consumo, ou até mesmo para utilização nas indústrias e no setor primário. Métodos de dessalinização, de baixo custo, podem ser parte da solução desse problema.

Este trabalho foi proposto visando obter maneiras - sustentáveis, simples e economicamente viáveis - de realizar um processo de dessalinização. Durante o período de estudo, foram estudados os principais métodos de dessalinização (dessalinização térmica e dessalinização por osmose reversa) e, após algumas análises e experimentos, verificou-se a possibilidade de realizar a dessalinização de águas utilizando um carneiro hidráulico, com baixo custo de produção, acoplado em série a um filtro de osmose reversa.

Neste artigo estão descritos os materiais e os métodos utilizados para montar um carneiro hidráulico de baixo custo, a capacidade de um filtro de osmose reversa de realizar dessalinização, as etapas de pré-tratamento necessárias para a realização da dessalinização por osmose reversa e os resultados obtidos após realizar-se o processo de dessalinização por osmose reversa –utilizando um carneiro hidráulico.

Palavras-Chave: *dessalinização; osmose reversa; carneiro hidráulico; água;*

I. INTRODUÇÃO

A escassez de água doce e potável é um problema que afeta todo o mundo. Podemos atribuir parte da responsabilidade deste problema à maneira irresponsável com que a humanidade utilizou e gerenciou este recurso. Apesar de o Brasil possuir 12% de toda a água doce do planeta [1], a crise hídrica é uma realidade para grande parte da população brasileira, principalmente na região Nordeste, que abriga 27% da população, mas possui menos de 4% de todo o recurso hídrico

disponível no Brasil [2]. Dados do WRI (World Resource Institute), divulgados em julho de 2017, apontam que mais de 15% dos países do planeta terra enfrentarão grandes crises hídricas nos próximos 25 anos [3]. Esse problema já vem acarretando diversos conflitos sociais e regionais. A água é um insumo cada vez mais disputado pelas nações e pelas indústrias, e mal gerenciado cada vez mais pelos governos e pelas pessoas que possuem fácil acesso a mesma.

Na busca de obter a solução para este problema, grandes empresas e grupos de pesquisadores vêm buscando novos métodos de dessalinização. Dessalinização é o processo de tratamento d'água que visa a retirada de sais minerais excessivos e outras partículas contidas na água do mar ou salobra, com o objetivo de obter água própria para o consumo humano.

De acordo com a IRENA (International Renewable Energy Agency), a dessalinização é a grande solução para saciar a sede humana e suprir as necessidades agropecuárias em países da África, oriente médio e em ilhas do Caribe. Segundo a IDA (International Development Association), mais de 300 milhões de pessoas no mundo tem suas casas abastecidas com água potável, diariamente, por meio da dessalinização [4].

Neste cenário atual, métodos e processos – sustentáveis, simples e de baixo custo - que realizem a dessalinização de águas salgadas ou salobras, surgem como alternativa para solucionar parte do problema.

Uma das possíveis soluções encontradas durante o período vigente de pesquisa, e que serviu de temática para a elaboração deste trabalho foi a utilização de um carneiro hidráulico junto a um filtro de osmose reversa para realizar o processo de dessalinização.

A osmose reversa é um processo de separação, que usa altas pressões para forçar a passagem de uma solução, de uma região de alta concentração de soluto, por uma membrana, que retém esse soluto, e permite a passagem do solvente para a outra

extremidade [5]. A dessalinização de águas para a obtenção de água potável é a maior aplicação da osmose reversa. Este processo, já consolidado a nível mundial, representa cerca de 34% de toda a água dessalinizada do mundo [6].

O carneiro hidráulico é uma bomba de recalque, que não utiliza energia externa para o seu funcionamento [7]. O carneiro hidráulico é utilizado usualmente em propriedades rurais, onde há escassez no fornecimento de energia elétrica, sendo utilizado como fonte alternativa ao bombeamento de água. Além de não necessitar de uma fonte de energia externa para o seu funcionamento, o carneiro hidráulico é um dispositivo livre de poluição [8]. O nome do dispositivo, carneiro hidráulico, refere-se às cabeçadas que os carneiros dão em outros carneiros, em disputas para definir quem será o macho alfa. O som produzido por essas disputas, é parecido com o som produzido pela válvula carneiro, no momento em que é fechada [9]. Este fenômeno físico é chamado de *Golpe de Ariete*, e também está presente em tubulações alimentadas por bombas hidráulicas.

Serão demonstrados - ao longo deste documento - os processos de pré-tratamento, elaboração e montagem do carneiro hidráulico e acoplamento do mesmo ao filtro de osmose reversa. O carneiro hidráulico, também chamada de bomba carneiro, terá a função de realizar o processo de bombeamento da água do mar para forçar a sua passagem por um filtro de osmose reversa, e assim, realizar o processo de dessalinização por osmose reversa.

II. O CARNEIRO HIDRÁULICO

Um carneiro hidráulico (figura 1) é composto, basicamente, de um tubo de alimentação, uma válvula carneiro, uma válvula de retenção, uma câmara de compressão e de um tubo de saída;

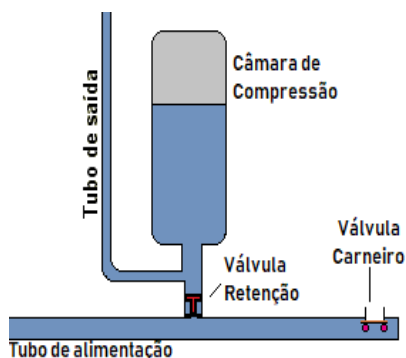


Figura 1 - Partes de um Carneiro Hidráulico

Para realizar a confecção e montagem do carneiro hidráulico, utilizou-se os seguintes materiais:

- 1 Cap soldável de PVC;
- 1 Cano de PVC de 50cm;
- 1 Cano de PVC de 12cm;
- 1 Registro esfera PVC;
- 2 Tês soldáveis PVC;

- 1 Cotovelo 90° PVC;
- 4 Níples com rosca;
- 1 Válvula de sucção completa para carneiro hidráulico;
- 1 Válvula de retenção vertical;
- 1 Bucha de redução para mangueira;
- 1 Adaptador para mangueira.

Para confeccionar o carneiro hidráulico, utilizado para realizar o experimento descrito neste documento, utilizou-se canos de PVC, válvulas e junções de medida $\frac{3}{4}$ de polegada. Porém, outras medidas podem ser utilizadas a fim de aumentar a vazão de saída no carneiro.

Para o funcionamento do carneiro hidráulico, os itens listados acima devem ser instalados seguindo o esquema da figura 2, abaixo:

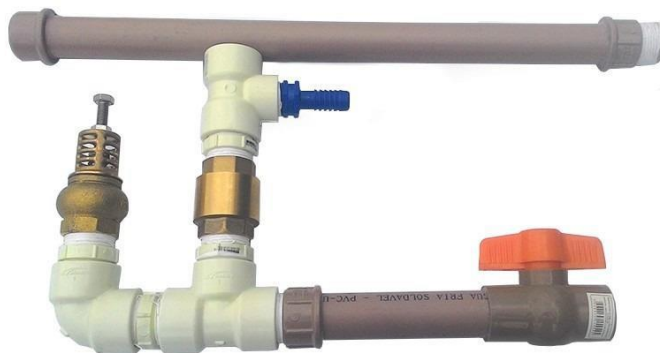


Figura 2 - Esquema de Montagem do Carneiro Hidráulico

O funcionamento do dispositivo se dá de forma simples, ilustrado na figura 3. O carneiro começa a bombear assim que a água chega até ele (etapa 1). Neste momento, dependendo da pressão de entrada da água e da disposição da válvula carneiro, para que a dispositivo tenha um melhor rendimento, é necessário realizar uma regulagem. Essa regulagem é feita desrosqueando ou rosqueando o parafuso, até que a válvula realize golpes em intervalos de aproximadamente 1 segundo. Após a água chegar à válvula carneiro, sua tampa abre, jorrando parte da água para fora do sistema (etapa 2). Quando ela fecha, dando o golpe de ariete, a água tende a voltar e encontrar a corrente de alimentação, obrigando o sistema a impulsionar a água para parte superior da bomba (etapa 3). Ao atravessar a válvula de retenção, ela se fecha – impedindo a água de retornar para o sistema inferior – e o ar contido na câmara pressuriza ela para baixo (etapa 4). Então ela

sai pelo adaptador de mangueira, com pressão superior à de entrada no sistema (etapa 5).

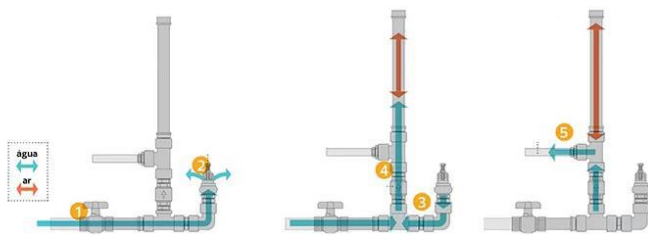


Figura 3 - Fluxograma de Funcionamento Carneiro Hidráulico

Quanto ao rendimento do carneiro hidráulico (equação 1), o mesmo depende da relação entre a altura da queda do reservatório, até o carneiro hidráulico, e da altura de elevação do reservatório a ser depositada a água, após o bombeamento [7].

$$\eta = \frac{q \cdot H}{Q \cdot h} \cdot 100$$

Equação 1 – Rendimento de um Carneiro Hidráulico

Onde: η é o rendimento do carneiro hidráulico (%); q é a vazão de recalque (m/s); H é a altura de recalque, em relação ao carneiro; Q é a vazão de alimentação (m/s); e h é a altura do reservatório de alimentação do carneiro (m).

III. PRÉ-TRATAMENTO

Uma das maiores desvantagens da utilização das membranas de osmose reversa é que, quando submetidas ao processo de dessalinização, estão sujeitas a acumulação de resíduos presentes na água [10] (tabela 1).

Tipos de Resíduos	Matéria
Biológicos	Micro-organismos, bactérias
Partículas	Areias, pedras, argila
Coloidais	Micro-algas, partículas coloidais
Orgânicos	Biopolímeros, humus
Minerais	Carbonatos, cálcio, magnésio
Oxidantes	Cloro, ozono

Tabela 1 - Resíduos Encontrados na Água do Mar

Com o objetivo de garantir melhores resultados e o prolongamento da vida útil dos dispositivos utilizados no sistema proposto, a água, utilizada no processo foi submetida a um pré-tratamento. Um correto pré-tratamento aumenta a produção, melhora a qualidade do permeado e ainda reduz necessidade de limpezas químicas, pós processo, e ainda minimiza a deterioração das membranas [11].

A água, antes de utilizada para o experimento, foi submetida aos tratamentos de: cloração curta – no intuito de remover resíduos biológicos; filtração, onde realizou-se uma passagem dessa água por uma peneira, com o objetivo de remover sólidos e partículas suspensas (areia, argila, etc.); e por um processo de adsorção por carvão ativado para remoção de odor e para dar coloração ideal à água.

Todo o processo de pré-tratamento teve duração de 72 horas, sendo o maior responsável por esse tempo o processo de adsorção por carvão ativado – com duração de mais de 70 horas.

IV. OSMOSE REVERSA

Osmose é um processo físico-químico, que consiste no movimento da água entre meios, com concentrações diferentes de solutos separados por uma membrana semipermeável. A água sempre se movimenta do meio menos concentrado de soluto para o mais concentrado, visando atingir igual concentração em ambos os meios [12]

Assim, ao colocarmos água salgada em uma extremidade de um mecanismo de osmose reversa e água pura em outra extremidade, aplicarmos uma pressão elevada, sobre a água do mar, teremos como resultado o processo de osmose reversa, onde as moléculas da água salgada irão em direção à água pura, afastando-se então dos seus sais.

Esse processo possui algumas vantagens, quando relacionado a outros processos tradicionais de dessalinização, e é a melhor alternativa para regiões localizadas próximas ao mar, que possuam baixa oferta de energia elétrica. Dentre algumas das vantagens deste processo podemos citar: baixo custo de investimento; baixo consumo energético; necessita de pouca área para instalação; processo contínuo; qualidade constante da água dessalinizada; dentre outros [13].

As membranas de osmose reversa (figura 2) – como são chamadas as membranas utilizadas neste processo - tem uma densa camada de barreiras, normalmente feitas de polímeros, onde ocorre maior parte da separação do solvente e do soluto. São membranas semipermeáveis, o que permite a passagem da água, retendo os sais e micro partículas [5].

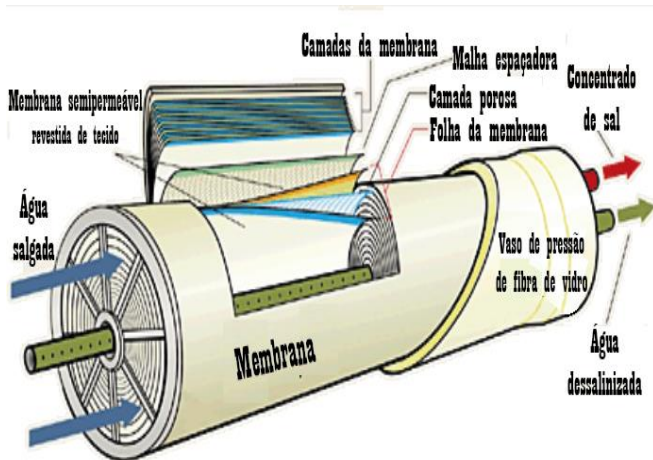


Figura 4 - Esquemática Membrana de Osmose Reversa

Para realizar o experimento, o filtro utilizado foi um filtro de osmose reversa de 3 etapas (figura 5). A primeira etapa possui um filtro de polipropileno, que realiza uma ultra filtragem. A segunda etapa é composta por um deionizador, que tem como função tornar a água mais pura, removendo todos os sais contidos nela. A terceira etapa do processo é composta por uma membrana de osmose reversa com vazão nominal de 190 litros por dia (50 GPD).

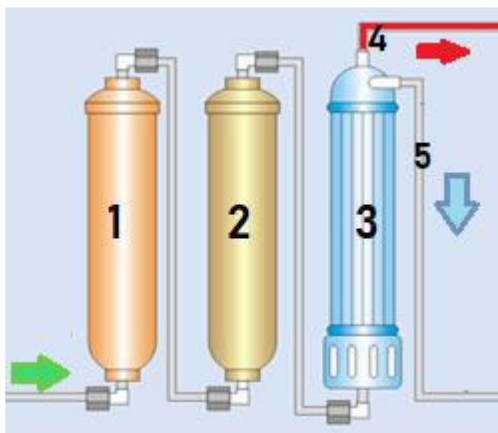


Figura 5 - Etapas do Filtro de Dessalinização por Osmose Reversa

A seta verde indica o fluxo de entrada d'água no filtro de osmose reversa. A etapa 4 indica a saída do rejeito do material submetido à membrana. A etapa 5 indica o fluxo de saída do material após o processo de filtração por osmose reversa.



Figura 6 - Filtro de Osmose Reversa Utilizado no Processo

V. MONTAGEM DO DISPOSITIVO

O sistema proposto (figura 7) tem como objetivo realizar a montagem de um dispositivo capaz de realizar o processo de dessalinização por osmose reversa, de baixo custo, utilizando um carneiro hidráulico, de simples montagem.

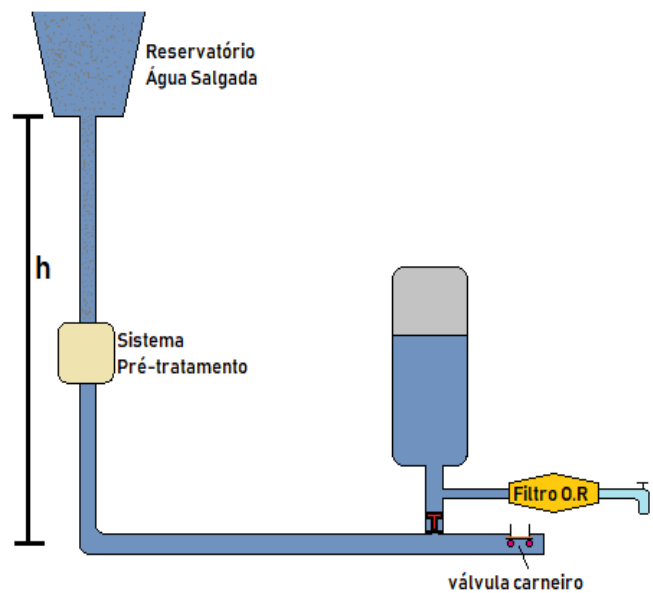


Figura 7 - Sistema Dessalinização Utilizando um Carneiro Hidráulico

Após montagem e regulagem do carneiro hidráulico [14] e da montagem do filtro de osmose reversa, acoplou-se os dois utilizando uma mangueira no adaptador de mangueira – na saída do carneiro hidráulico – e um engate rápido para mangueiras, como demonstrado na figura 8, abaixo.



Figura 8 - Sistema de Acomplamento Carneiro Hidráulico - Filtro de Osmose Reversa

E para realizar o processo de dessalinização foi montado o sistema, já demonstrado na figura 7, utilizando um galão de 20 litros comercial de água mineral, conforme figura 6, abaixo.



Figura 9 - Dispositivo Montado

Para alcançarmos a pressão necessária para o funcionamento do carneiro hidráulico, a altura de elevação, do dispositivo de armazenamento de água, foi de 2,75 metros.

VI. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Após e durante a realização do processo de dessalinização demonstrado acima, coletou-se amostras de água em todas as etapas do processo, afim de realizar um estudo e comparação de parâmetros, após cada etapa do processo (tabela 2).

Estado da água	TDS (p.p.m)	pH	Aspecto físico
Salgada (mar)	>999	8,1	Translúcida, coloração escura, com alto teor de precipitado.
Pós-clorinação	>999	7,9	Translúcida, coloração escura, com alto teor de precipitado.
Pós-filtração	651	7,9	Translúcida, coloração escura, sem precipitado.
Pré-filtração por O.R	702	7,9	Translúcida, coloração média, sem precipitado.
Rejeito	328	7,5	Translúcida incolor, com alto teor de precipitado.
Pós-filtração por O.R.	31	7,3	Translúcida incolor, sem precipitado.

Tabela 2 - Parâmetros das Amostras de Água

Quanto aos parâmetros das amostras d'água coletadas, observaremos fatores como: Total de Sólido Dissolvido (TDS), que representa a matéria em solução, dado em partícula por milhão (p.p.m); o pH da água, que representa o potencial entre íons H⁺ e OH⁻; e o aspecto físico. Os parâmetros ideais de uma água para consumo estão indicados na tabela 3.

Estado da água	TDS (p.p.m)	pH	Aspecto físico
Água potável	0	6-7	Translúcida incolor, sem precipitado.

Tabela 3 -Parâmetros Ideais Água Potável

Levando em consideração o tema proposto e o que foi exposto nos itens anteriores, podemos afirmar que é possível a implantação de um sistema de dessalinização de baixo custo e de fácil construção e instalação. Além do citado, podemos destacar o fato de conseguir estudar, projetar e a montar um dessalinizador de baixo custo e fácil instalação.

Consideramos, portanto, que o projeto foi concluído com sucesso. Embora o aproveitamento da água dessalinizada tenha sido baixo, o resultado é animador, visto que todo o processo foi montado de forma simples e com baixo custo.

REFERÊNCIAS

- [1]Matéria, T. Toda Matéria. **Escassez de água**, 2018. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/escassez-de-agua/>>. Acesso em: 18 Agosto 2018.
- [2]Silva, A. P. P. D. **Dessalinização de águas**. São Paulo: oficina de textos, v. I, 2015.
- [3]Consea, A. Planalto. **Crise hídrica afeta milhões de pessoas no mundo e ameaça segurança alimentar**, 2017. Disponível em: <<http://www4.planalto.gov.br/consea/comunicacao/noticias/2017/julho/crise-hidrica-afeta-milhoes-de-pessoas-no-mundo-e-ameaca-seguranca-alimentar>>. Acesso em: 20 Agosto 2018.
- [4]Ecycle. eCycle. **Dessalinização da água: do mar ao copo**, 2016. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/2583-dessalinizacao-da-agua>>. Acesso em: 20 Agosto 2018.
- [5]Majop. MAJOP produtos para suinocultura. **Osmose Reversa - processo de purificação de água**, 2012. Disponível em: <<http://www.majop.com.br/ARTIGO%20T%C3%89CNICO%20OSMOSE%20REVERSA%20ENTENDA%20O%20SEU%20FUNCIONAMENTO%20.pdf>>. Acesso em: 20 Agosto 2018.
- [6]Moura, J. P. Aguas Subterrâneas. **APLICAÇÕES DO PROCESSO DE OSMOSE REVERSA PARA O APROVEITAMENTO DE ÁGUA SALOBRA DO SEMI-ÁRIDO NORDESTINO**, 2008. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/download/23343/15435>>. Acesso em: 20 Agosto 2018.
- [7]Novellinie, C. Grupo EP. **A importância do pré-tratamento para osmose reversa**, 2017. Disponível em: <<https://www.grupoep.com.br/pre-tratamento-para-osmose-reversa/>>. Acesso em: 21 agosto 2018.
- [8]Evangalista, A. W. P. Agro UFG. **Carneiro hidráulico**, 2015. Disponível em: <https://www.agro.ufg.br/up/68/o/Carneiro_Hidr_ulico_01.pdf>. Acesso em: 19 agosto 2018.
- [9]ROJAS, R. N. Z. Arquivos Teses USP. **Modelagem, otimização e avaliação de um carneiro hidráulico**, 2002. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11143/tde-12022003-161510/publico/ricardo.pdf>>. Acesso em: 20 Agosto 2018.
- [10]Grupo-EP. Grupo EP. **A IMPORTÂNCIA DO PRÉ-TRATAMENTO PARA A OSMOSE REVERSA**, 2017. Disponível em: <<https://www.grupoep.com.br/pre-tratamento-para-osmose-reversa/>>. Acesso em: Agosto 21 2018.
- [11]Carraro, D. Scielo. **Características construtivas de um carneiro hidráulico com materiais alternativos**, 2017. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v11n4/v11n04a01.pdf>>. Acesso em: 20 Agosto 2018.
- [12]Maritmo, P. Portal Marítimo. **Osmose Reversa – Conheça este processo que purifica nossa água a bordo**, 2016. Disponível em: <<https://www.portalmaritimo.com/2016/10/21/osmose-reversa-conheca-este-processo-que-purifica-nossa-agua-a-bordo/>>. Acesso em: 01 Setembro 2018.
- [13]Mundo educação. **Dessalinização da água**. Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/curiosidades/o-que-dessalinizacao-agua.htm>>. Acesso em: 31 Agosto 2018.
- [14]Braga, N. NewtonCBraga. **O Carneiro Hidráulico**. Disponível em: <<https://newtoncbraga.com.br/index.php/eletronica/52-artigos-tecnicos/artigos-diversos/10417-o-carneiro-hidraulico-art2391>>. Acesso em: 21 Agosto 2018.

Síntese de nanopartículas magnéticas de óxido de ferro

Mariana Bianchini Silva
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Metalúrgica (PPGEM)
Universidade Federal Fluminense
(UFF)
Volta Redonda, Brasil
marianabianchini@id.uff.br

Michele Lemos de Souza
Departamento de Química
Instituto de Ciências Exatas (ICEx)
Universidade Federal Fluminense
(UFF)
Volta Redonda, Brasil
michele_lemos@id.uff.br

Leticia Vitorazi
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Metalúrgica (PPGEM)
Departamento de Engenharia
Metalúrgica e Materiais
Escola de Engenharia Metalúrgica de
Volta Redonda (EEIMVR)
Universidade Federal Fluminense
(UFF)
Volta Redonda, Brasil
leticiavitorazi@id.uff.br

Resumo—Nanopartículas magnéticas de óxido de ferro podem ser obtidas por diferentes rotas sintéticas, incluindo a co-precipitação a partir de sais de ferro. Neste trabalho, foram obtidas nanopartículas de maghemita por um método simples, rápido e barato. As partículas obtidas foram caracterizadas pela técnica de análise de rastreamento de nanopartículas (NTA) e apresentaram diâmetros em escala nanométrica, com 20 nm em média. Ao variar a concentração de citrato no início da síntese foram observadas características peculiares, como a agregação de partículas em concentrações mais altas de citrato.

Palavras-chave—nanopartículas magnéticas, síntese.

I. INTRODUÇÃO

Os sistemas em escala nanométrica (10^{-9} m) apresentam propriedades interessantes que não são observadas nos materiais volumosos, *bulk*, de composição semelhante [1]. Isto ocorre porque, em escala nanométrica, um material apresenta dimensões comparáveis ao comprimento de onda de De Broglie e os efeitos quânticos são mais pronunciados [2]. Nesse aspecto, destacam-se as nanopartículas (NPs), com diâmetros variando entre 1 e 100 nanômetros, podendo ser constituídas de materiais orgânicos ou inorgânicos que podem estar na forma de cristal único, agregado de cristais ou como materiais completamente amorfos [3]. As propriedades e aplicações das nanopartículas estão fortemente associadas ao seu tamanho, morfologia e estrutura cristalina [2,4].

A estabilidade dos nanomateriais também está associada ao seu tamanho mas depende ainda do meio em que estão inseridos, sendo que as nanopartículas são consideradas instáveis por apresentarem tendência natural em agregarem-se e crescerem [5]. Estudos de estabilidade de nanopartículas têm explorado o comportamento destes materiais na presença de matéria orgânica [6], o efeito de pH, presença de íons e diferentes solventes [7,8], assim como estratégias de recobrimento e funcionalização para aumentar a estabilidade [9].

As nanopartículas magnéticas apresentam propriedades de magnetismo únicas quando comparadas com os materiais volumosos, como superparamagnetismo, alta coercitividade, baixa temperatura de Curie e alta susceptibilidade magnética [10]. Elas são utilizadas tanto industrialmente, na forma de catalisadores, fluidos magnéticos para juntas e remediação ambiental, como na área biomédica, sendo aplicadas como sensores, em técnicas de diagnóstico e métodos inteligentes de aplicação de medicamentos (*targeted drug delivery*) [3, 10, 12].

A magnetita (Fe_3O_4) e maghemita ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) são duas formas comuns de NPs superparamagnéticas de óxido de ferro (SPION, do inglês *superparamagnetic iron oxide nanoparticles*) devido à sua habilidade de apresentar magnetismo zero na ausência de um campo magnético externo e possibilitando a essas partículas alta susceptibilidade magnética [11,12]. A maghemita apresenta a mesma estrutura cristalina da magnetita (octaédrica) e mesma composição da hematita (todos os cátions ferro presentes no estado mais oxidado) [13,14]. Os nanomateriais de óxido de ferro são promissores devido, principalmente, à sua biocompatibilidade e facilidade de modificação da superfície [14].

As nanopartículas de maghemita podem ser obtidas por diferentes rotas sintéticas, como co-precipitação, síntese sol-gel, micro emulsão, pirólise, decomposição de precursores orgânicos a altas temperaturas e oxidação de nanopartículas de magnetita [3,14]. O método de preparo afeta a distribuição dos cátions na estrutura cristalina, o tamanho e forma das partículas e, conseqüentemente, as propriedades e aplicações do material [15]. Segundo Massart [16], a adição de citrato à síntese de maghemita por co-precipitação afeta o crescimento das partículas. A estabilidade da maghemita em meio aquoso depende não só das condições do meio em que é inserida, mas também de suas propriedades magnéticas intrínsecas: essas partículas têm maior facilidade em agregarem-se em função da atração magnética de dipolos de longo alcance [6]. Assim, a modificação da superfície das NPs magnéticas é um caminho para superar os desafios de estabilidade e oferece possibilidade de funcionalização das partículas [3, 10].

Neste trabalho, nanopartículas de maghemita foram preparadas segundo o método de Massart, variando a concentração de citrato adicionada na primeira etapa a fim de verificar sua influência no tamanho final das partículas obtidas.

II. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A. Materiais e Reagentes

Foram utilizados os reagentes de padrão analítico: cloreto férrico hexa-hidratado ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, Synth), cloreto ferroso tetra-hidratado ($\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, Sigma-Aldrich), nitrato férrico nona-hidratado ($\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, Synth), citrato de sódio di-hidratado ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, Synth), hidróxido de amônio (NH_4OH , Impex) e ácido nítrico (HNO_3 , 65%, Vetec). Em todos os procedimentos, utilizou-se água ultrapura.

B. Síntese de nanopartículas magnéticas

As nanopartículas de $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ foram sintetizadas em meio aquoso, segundo o procedimento de Massart [16]. Adicionou-se, sob agitação constante e a temperatura ambiente, 3,30 mL de NH_4OH concentrado ($\approx 7 \text{ mol.L}^{-1}$) a 50 mL de uma solução contendo $0,04333 \text{ mol.L}^{-1}$ de Fe^{2+} e $0,08667 \text{ mol.L}^{-1}$ de Fe^{3+} e concentrações variáveis de íons citrato. As partículas formadas foram isoladas por decantação magnética e lavadas duas vezes com 20 mL de água deionizada. Ao precipitado lavado, adicionou-se 3,30 mL de HNO_3 a 2 mol.L^{-1} , sob agitação. As partículas obtidas após nova decantação magnética foram oxidadas a 90°C durante 30 minutos, com 7,90 mL de $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ $0,34 \text{ mol.L}^{-1}$. Por fim, removeu-se o sobrenadante e as partículas obtidas foram peptizadas em 20 mL de água deionizada com pH corrigido ($\text{pH} \approx 2$).

A quantidade de citrato foi ajustada conforme a concentração total de íons ferro na solução, de forma que R fosse a razão entre a concentração de citrato e concentração de $\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+}$, em porcentagem. Assim, foram realizadas sínteses de nanopartículas com R variando de 0,25 a 4,0 %.

C. Análise das nanopartículas pela técnica de análise de rastreamento de nanopartículas (NTA)

O tamanho das nanopartículas foi determinado pela a técnica de análise de rastreamento de nanopartículas (NTA) utilizando o equipamento NanoSight LM20, empregando laser vermelho com comprimento de onda de 635 nm e viscosidade calibrada em 0,95 cP. As análises foram realizadas a 22°C , com polidispersidade média, tempo de análise de 30 s com intervalo de 40 a 100 partículas por imagem.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As nanopartículas de maghemita foram sintetizadas em meio aquoso por um método de co-precipitação de três etapas (Fig. 1): na primeira, com a adição de hidróxido de amônio à solução contendo concentração conhecida de íons ferro (Fe^{2+} e Fe^{3+}) e citrato, ocorre a formação de precipitado preto com partículas aniônicas de magnetita (Fe_3O_4) [16]; na segunda etapa, o pH da solução é ajustado com a adição de HNO_3 ; por fim, as partículas de magnetita são oxidadas à maghemita ao ar, formando precipitado levemente marrom que foi peptizado em água.

Os tamanhos obtidos para as partículas na análise de rastreamento de nanopartículas estão resumidos na Tabela 1.

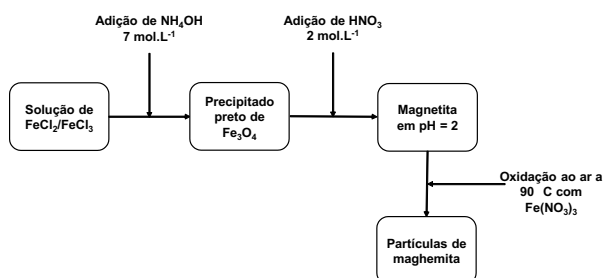


Fig. 1. Síntese esquematizada de maghemita.

TABELA I. DIÂMETROS MÉDIOS DAS NANOPARTÍCULAS DE MAGHEMITA, DETERMINADOS POR ANÁLISE DE RASTREAMENTO DE NANOPARTÍCULAS.

R (%)	Diâmetro médio (nm)
0,25	19,50 ± 11,00
0,50	18,33 ± 10,33
0,75	20,67 ± 11,00
2,00	19,00 ± 9,67
2,50	18,00 ± 11,50
3,00	19,00 ± 10,00
3,50	19,33 ± 13,00
4,00	21,50 ± 15,50

As partículas obtidas apresentaram diâmetros em escala nanométrica variando de forma não uniforme com a concentração de citrato inserida na síntese. De forma geral, as partículas com diferentes concentrações de citrato apresentaram diâmetros semelhantes, variando entre 18 e 21 nm. Observa-se no valor de desvio padrão que, para as maiores concentrações de citrato utilizadas ($R = 3,5$ e $4,0$ %), as partículas obtidas apresentaram maior variação na distribuição de tamanhos. Nesse sentido, destaca-se a concentração de partículas encontrada na análise de rastreamento, como mostrado na Fig. 2: as partículas sintetizadas com $R = 4,0$ % e $R = 3,5$ % apresentaram as maiores concentrações de partículas por volume de amostra entre todas as amostras analisadas. Ainda, observa-se nestas duas amostras o alargamento acentuado do pico no lado direito do gráfico, isto é, lado de maior diâmetro, o que também contribuiu para o maior desvio observado.

Comparando-se a distribuição de tamanhos nas amostras de menor concentração de citrato ($R = 0,25$; $0,50$ e $0,75$ %), mostrada na Fig. 3a, observa-se maior simetria que a distribuição encontrada nas amostras mais concentradas em citrato, principalmente para a amostra de $R = 0,5$ %, indicando que as partículas sintetizadas nestas condições apresentaram maior estabilidade. Por outro lado, as distribuições de tamanhos das partículas com $R = 2,0$ e $3,0$ % apresentaram assimetria acentuada e diversos picos de concentração. Nestes casos, deve ser considerada a possibilidade de existirem partículas agregadas no meio. As nanopartículas de óxido de ferro apresentam alta razão entre superfície e volume e, como consequência, possuem altas energias superficiais e tendem a agregar-se para adquirir estabilidade [3,4].

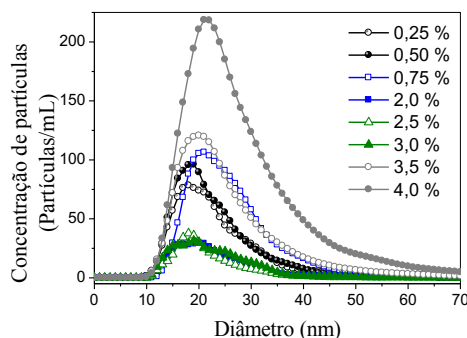


Fig. 2. Distribuição do tamanho das partículas obtido por NTA.

Não foi possível observar o efeito claro da adição de citrato na síntese das nanopartículas. Segundo Massart, os íons citrato adicionados no início da síntese seriam adsorvidos pelos núcleos em formação devido à troca de ligantes na superfície, quando os íons citrato substituiriam os grupos hidroxila [17]. Esta troca de ligantes seria responsável por impedir o crescimento dos núcleos, fazendo com que partículas com maior concentração de citrato apresentassem menor diâmetro.

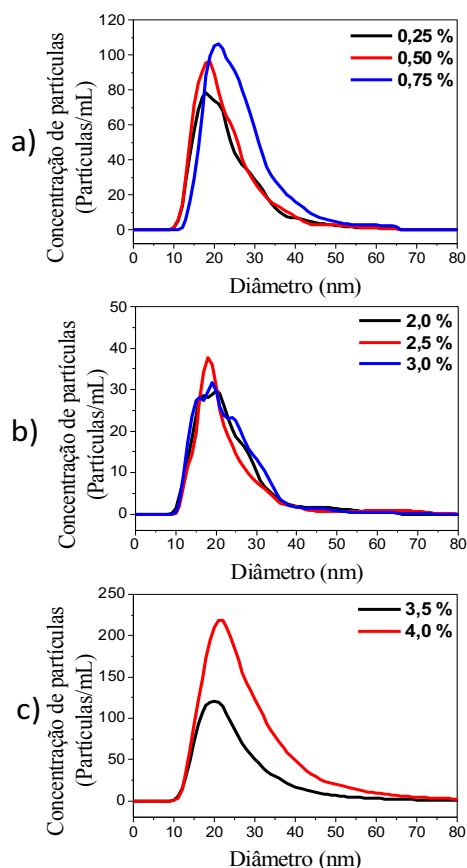


Fig. 3. Detalhe da distribuição do tamanho das partículas para (a) baixa concentração de íons citrato, (b) concentração intermediária de íons citrato e (c) maiores concentrações de citrato.

IV. CONCLUSÃO

Partículas magnéticas de óxido de ferro foram sintetizadas em escala nanométrica através de um método simples, rápido e acessível. Foram obtidas partículas com diâmetro médio de 20 nm em meio ácido, possivelmente carregadas positivamente, o que possibilita novos estudos para recobrimento das nanopartículas e desenvolvimento de novos materiais. Estudos posteriores tratarão da análise de morfologia, composição e estrutura desses materiais. Assim, serão necessárias etapas futuras para a completa caracterização das nanopartículas.

AGRADECIMENTOS

Vitorazi, L. e de Souza, M. L. agradecem ao programa FOPESQ-2017.

REFERÊNCIAS

- [1] B. Rogers, J. Adams, S. Pennathur, "Nanotechnology – Understanding small systems", 3rd ed., CRC Press, 2015, pp. 103-105.
- [2] W.A. Alves, "Química supramolecular e nanotecnologia", 1st ed., Editora Atheneu, 2012, pp. 270-288.
- [3] W. Wu, Q. He, C. Jiang, "Magnetic iron oxide nanoparticles: synthesis and surface functionalization strategies", *Nanoscale Res. Letters*, vol. 3, pp. 397-415, 2008.
- [4] O.J. Fakayode, N.Tsolekile, S.P. Songca, O.S. Oluwafemi, "Functionalized nanomaterials in photodynamic therapy", *Biophysical Rev.*, vol. 10, pp. 49-67, 2018.
- [5] A.A.Keller, H.Wang, D.Zhou, H.S.Lenihan, G.Cherr, B.J.Cardinale, R.Miller, Z.Ji, "Stability and aggregation of metal oxide nanoparticles in natural aqueous matrices", *Environ. Sci. Technol.*, vol. 44, pp. 1962-1967, 2010.
- [6] S.Ghosh, W.Liang, J.D.McClements, B.Xing, "Colloidal stability of magnetic iron oxide nanoparticles: influence of natural organic matter and synthetic polyelectrolytes", *Langmuir*, vol. 27(13), pp. 8036-8043, 2011.
- [7] M.Safi, J.Courtouis, M.Seigneur, H.Conjeaud, J-F. Berret, "The effect of aggregation and protein corona on the cellular internalization of iron oxide nanoparticles", *Biomaterials*, vol. 32, pp. 9553-9363, 2011.
- [8] X.Wang, R.D.Tilley, J.J.Watkins, "Simple ligand exchange reactions enabling excellent dispersibility and stability of magnetic nanoparticles in polar organic, aromatic, and protic solvents", *Langmuir*, vol. 30(6), pp. 1514-1521, 2014.
- [9] Y-S.Li, J.S.Church, A.L.Woodhead, F.Moussa, "Preparation and characterization of silica coated iron oxide magnetic nanoparticles", *Spectrochim. Acta A*, vol. 76, pp. 484-489, 2010.
- [10] B.K. Sodipo, A.A. Aziz, "Recent advances in synthesis and surface modification of superparamagnetic iron oxide nanoparticles with silica", *J. Magn. Magn. Mater.*, vol. 416, pp. 275-291, 2016.
- [11] M. Klotz, A. Ayral, C. Guiard, C. Menager, V. Cabuil, "Silica coating on colloidal maghemite particles", *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 220, pp. 357-361, 1999.
- [12] S. K. Rastogi, J. M. F. Jabal, H. Zhang, et. al. "Antibody silica coated iron oxide nanoparticles: synthesis, capture of E. coli and SERS titration of biomolecules with antibacterial silver colloid", *J. Nanomed. Nanotechnol.*, vol. 121, pp. 2-7, 2011.
- [13] R.N. Baig, R.S. Varma, "Organic synthesis via magnetic attraction: benign and sustainable protocols using magnetic nanoferrites", *Gree Chem.*, vol. 15(2), pp. 398-417, 2013.
- [14] H. Shokrollahi, "A review of the magnetic properties, synthesis methods and applications of maghemite", *J. Magn. Magn. Mat.*, vol. 426, pp.74-81, 2017.
- [15] H. Shokrollahi, L. Avazpour, "Influence of intrinsic parameters on the particle size of magnetic spinel nanoparticles synthesized by wet chemical methods", *Particuology*, vol. 26, pp. 32-39, 2016.
- [16] A. Bee, R. Massart, S. Neveu, "Synthesis of very fine maghemite particles", *J. Magn. Magn. Mat.*, vol. 149, pp. 6-9, 1995.
- [17] Fauconnier N., Bee A., Roger J., Pons J.N. 15(1996) Adsorption of gluconic and citric acids on maghemite particles in aqueous medium. In: Solans C., Infante M.R., Garcia-Celma M.J. (eds) Trends in Colloid and Interface Science X. Progress in Colloid & Polymer Science, vol 100.

ESTUDO SOBRE A VIABILIDADE TÉCNICA DE UM MAÇARICO OXI-HIDROGÊNIO UTILIZANDO ELETRÓLISE DA ÁGUA

Armando Teixeira Nunes
Master Student – PGTA
UFF

Volta Redonda-RJ
armandoteixiranunes@gmail.com

Patrícia Alves Carneiro
Professor – Dept. Chemistry - PGTA
UFF

Volta Redonda- RJ, Brasil
patriciacarneiro@id.uff.br

Nelson Ramos Stradiotto
Professor - PGTA
UFF

Volta Redonda- RJ, Brasil
nrstradi@gmail.com

Resumo - O presente estudo apresenta a viabilidade técnica da utilização de maçaricos que empregam os gases oxigênio e hidrogênio, via processo de eletrólise. A partir de tal processo, há geração dos gases para o consumo imediato, sem o seu armazenamento em compartimentos de pressão, possibilitando o uma maior aplicabilidade e segurança no mercado comercial. No mercado são encontrados maçaricos com a utilização do gás acetileno, porém é necessário ter um equipamento robusto e de grande porte, somada a necessidade da compra e armazenamento do gás. Em contrapartida, a viabilidade técnica do uso do maçarico com chama proveniente da eletrólise da água tem como finalidade proporcionar uma sustentabilidade em nível ambiental devido às características inerentes do processo, e adicionalmente, criar um aparato de simples montagem, operação e manutenção.

Palavras-chaves — maçarico, oxi-hidrogênio, viabilidade técnica, hidrogênio, oxigênio, eletrólise.

I. INTRODUÇÃO

Devido ao aquecimento global e o esgotamento futuro das fontes de petróleo a comunidade científica e a sociedade buscam fontes de energias limpas e renováveis, visando uma melhoria da qualidade de vida, contribuindo plenamente com um futuro mais sustentáveis. São necessárias pesquisas de novas formas de produção de energia térmica proveniente de fontes renováveis, assim como se deseja que estas ao final do processo não produzam resíduos gasosos tóxicos, principalmente evitando a exposição do operador a substâncias tóxicas (MEDEIROS e BOTTON; 2007).

Nos processos de soldagem são empregados gases oxicomustíveis convencionais e o gás combustível utilizado é o acetileno, sendo que este produz ao final de sua queima dióxido de carbono, gás este conhecidamente gerador do efeito estufa (GEE). Com a substituição do acetileno pelo hidrogênio, como gás combustível, fica eliminada a emissão de GEEs, uma vez que a queima do hidrogênio e do oxigênio, resultam em água (FERREIRA; 2011).

Em virtude desses fatos, a justificativa para o presente trabalho seria a possibilidade da criação de um maçarico de oxi-hidrogênio, cujo o mesmo possa produzir os gases necessários ao processo de soldagem/corte, pela decomposição da molécula da água via eletrólise, fornecendo estes gases sem a necessidade de reabastecimento e compra constante dos mesmos. Adicionalmente, a geração *in situ* destes gases evitaria o armazenamento em cilindros e a estocagem, tornando o equipamento seguro do ponto de vista de vazamentos, além de diminuir os índices de acidentes na operação destes instrumentos, proporcionando segurança à saúde do operador. Outra vantagem implica no fato de que a

soldagem feita a partir do hidrogênio confere a mesma uma maior resistência na junta soldada, mostrando um melhoramento nas propriedades mecânicas envolvidas (MODENESI; 2012). O equipamento ainda poderia apresentar-se muito mais leve e compacto em relação aos existentes no mercado, possibilitando uma maior portabilidade. Devido aos valores comerciais na produção do equipamento e na produção dos gases, associada a segurança do operador do maçarico, tanto a exposição aos gases provenientes da queima do hidrogênio, quanto as emissões zero de GEE, pode-se esperar do equipamento proposto uma maior sustentabilidade e uma maior adequação às normas ambientais vigentes.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

A. Componentes Utilizados na confecção do Maçarico e da célula eletrolítica

Os equipamentos utilizados para a realização da pesquisa foram formatados para se monitorar temperaturas, vazão, corrente elétrica, voltagem e calor produzido pela chama do maçarico, sendo assim a bancada de testes utiliza os seguintes componentes:

- 02 Transformadores de voltagem (entrada) 127 V / 12 V (saída) – made in china (sem marca no produto);
- 04 PWMs (Pulse Width Modulation) da marca Droyd com display digital, de 0 e 30 A (amperes);
- 02 reservatórios de solução (plástico) com capacidade de 1,5 litros cada (marca OGO), com 03 saída/entradas 3/8” e com tampa rosqueável;
- 01 célula eletrolítica do tipo seca (drycell);
- 01 suporte de em aço carbono para fixação da célula e dos reservatórios;
- 01 alicate amperímetro/multímetro digital Minipa Et3200;
- 01 termômetro laser/infravermelho UFREE GM300 com faixa de temperatura entre - 50 a 420 °C, e com precisão de +/- 1,5 °C;
- 01 termopar “W” (para registrar temperaturas até 1000 °C);
- 01 registrador gráfico de temperatura com 6 canais marca Fuji PHE 9 - com microprocessador e display digital –
- 01 maçarico de solda industrial 201 para utilização com gás oxi-acetileno;
- 01 extensão de solda nº 02 – marca Vonder
- 01 fluxometro da marca MORIYA com escala de zero a 15 litros de gás oxigênio por minuto (l/m);
- 03 metros de tubo plástico flexível 3,8”;
- 02 metros de cabo rígido de cobre de 6 mm nas cores preto e vermelha.

A célula eletrolítica que gera o gás oxí-hidrogênio investigada é do tipo que produz os gases devidamente separados por meio de membranas, e foi desenhada e desenvolvida exclusivamente para este estudo. A mesma é do tipo “*DryCell*” – célula seca. A análise deste tipo de célula permite averiguar a eficiência do maçarico no exercício de sua função. Esta análise foi feita determinando-se a vazão dos gases (litros por minuto – L/m), temperatura da célula (°C), temperatura dos reservatórios do eletrólito (°C) e temperatura da chama (°C) obtida no maçarico.

Os materiais utilizados na construção da célula são os seguintes:

- 02 placas de acrílico transparente com dimensões de 220x154 mm;
- 22 placas de aço inox 316L;
- 08 parafusos de 250 mm de comprimento e 5mm de diâmetro cada;
- 16 porcas de pressão nº 07;
- 16 arruelas de pressão com furo de 5 mm;
- 48 borrachas espaçadoras de látex puro na cor preta com espessura de 2 mm cada, desenhadas especificamente para o projeto, com diâmetro externo de 144x120 mm e com diâmetro interno de 100x100 mm cada;
- 23 membranas permeáveis com dimensão externa de 144x120 mm feitas de nylon branco com 120 fios trançados;
- 03 engates rápidos com dimensão de entrada de 10 mm;

Os eletrodos utilizados são de aço inoxidável 316L, com formato retangular e espessura de 0,9 mm com a dimensão de 150x120 mm, contendo 03 furos com diâmetro de 10 milímetros em cada placa. O conjunto totalizou 22 placas, sendo 04 placas energizadas com carga positiva (ânodos) e 04 placas com carga negativa (cátodo) e 14 placas sem energia, chamadas de placas neutras.

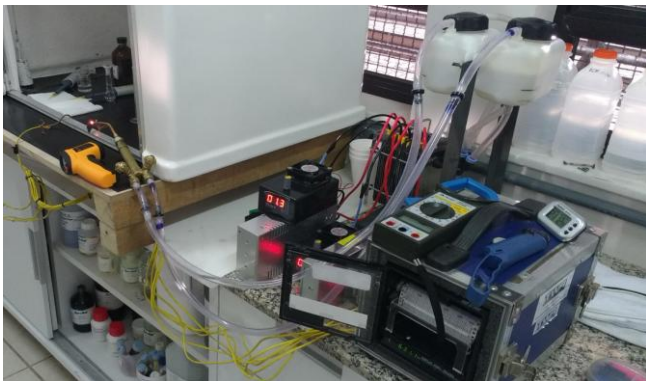


Fig. I. Bancada de teste com maçarico e célula eletrolítica

O eletrólito suporte utilizado na pesquisa foi o hidróxido de potássio (KOH), e o mesmo foi utilizado nas concentrações de 20 g L⁻¹ e 40 g L⁻¹. A solução do eletrólito suporte foi preparada em água desmineralizada e deionizada em sistema de purificação Milli-Q, Millipore.

O estudo da eletrólise da água e produção de gases utilizados no maçarico foi realizado empregando 02 transformadores de energia com entrada de 127 V e saída de 12 V, sendo tal tensão utilizada em cada conjunto de eletrodos (6 V no cátodo e 6 V no ânodo), caracterizando assim o uso contínuo de 12 V no conjunto de cada célula. As correntes aplicadas nos experimentos foram de 10 A e

15 A, para efeito de estudo de corrente. O maçarico foi testado em alguns materiais de pequeno porte, tais como parafusos e latas de alumínio de refrigerante, para se verificar a capacidade de corte do material pela chama do maçarico.

B. Análise do comportamento da Célula Eletrolítica

A pesquisa foi desenvolvida e aplicada no laboratório de Química Analítica e Ambiental (T-05) da Universidade Federal Fluminense de Volta Redonda – RJ - Campus: Atarrado. Nos experimentos foram utilizados os parâmetros abaixo listados (itens 1 a 4) e também observadas e registradas as seguintes informações (itens 5 a 7):

1. Volume do Eletrólito – 1,5 litros;
2. Concentração do Eletrólito (20 g L⁻¹ e 40 g L⁻¹ de KOH);
3. Tensão (12 V);
4. Corrente (10 e 15 A);
5. Temperatura dos Reservatórios de Hidrogênio e Oxigênio (°C);
6. Temperatura da Célula Eletrolítica (°C);
7. Temperatura da Chama do Maçarico (°C);

Os experimentos foram realizados em triplicata para cada uma das configurações, tendo sido observadas as temperaturas nos reservatórios de H₂ e O₂, a temperatura global da célula eletrolítica e temperatura da chama. O tempo de observação de cada experimento foi 30 minutos. A realização dos experimentos em triplicata em cada uma das configurações possíveis, resultou em um número de 36 experimentos com duração de 30 minutos cada, totalizando cerca de 18 horas de funcionamento do equipamento em períodos intercalados. Em todos os experimentos e em todas as configurações possíveis a temperatura dos reservatórios, a temperatura da célula, o tempo de acendimento da chama e a temperatura da chama foram aferidos no momento ZERO e foram coletadas as informações em uma planilha a cada 05 minutos pelo tempo total de 30 minutos.

III. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A. Temperatura da Célula Eletrolítica

Para os ensaios de funcionamento do maçarico e produção dos gases hidrogênio e oxigênio via eletrólise a corrente controlada foi fixado inicialmente o volume da célula como sendo de 1,5 L de eletrólito suporte (KOH). Foi investigada a utilização de diferentes valores de correntes (10 A e 15 A), fixando inicialmente a concentração do eletrólito suporte e posteriormente variando a concentração do mesmo (20 g L⁻¹ e 40 g L⁻¹), após a fixação dos valores de corrente ensaiados.

Os resultados observados apontam que, para o volume fixo da célula de 1,5 L empregando a maior corrente (15 A), um valor maior na temperatura na célula eletrolítica foi registrado, sendo que uma amplitude térmica foi observada da ordem 19,4 °C, entre a utilização de 10 A em comparação com a utilização da corrente de 15 A para a concentração 20 g L⁻¹ de KOH, e de 18,1 °C para a concentração de 40 g L⁻¹, quando variada a corrente. Os resultados obtidos são apresentados na Fig. II.

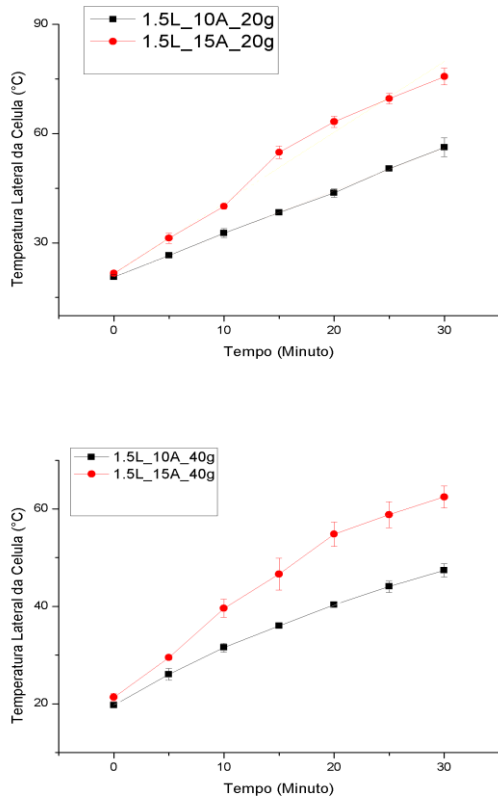


Fig. II. Temperatura da Célula Eletrolítica registrada durante a eletrólise para geração dos gases do maçarico.

3.2. Temperatura do Reservatório de Hidrogênio (H₂)

Mantendo-se o volume constante de 1,5 litros de eletrólito suporte e empregando as mesmas correntes já mencionadas anteriormente (10 A e 15 A), mas em experimentações distintas, foi investigada a variação de temperatura no reservatório de hidrogênio, a fim de descrever o efeito da concentração do eletrólito suporte sobre esse parâmetro. Foram investigadas duas concentrações de KOH (20 g L⁻¹ e 40 g L⁻¹). Os resultados são apresentados na Fig. III.

Foi observado que utilizando a corrente de 15 A a temperatura alcançada foi de 54,8 °C neste reservatório estudado, quando usado 20 g L⁻¹ de KOH, frente a temperatura de 38,7 °C quando empregado 40 g L⁻¹ de KOH. Ou seja, uma diferença de 16,1 °C. Já com o uso da corrente 10 A a temperatura do reservatório chegou a média de 38,7 °C durante os experimentos quando a concentração de 20 g L⁻¹ de eletrólito suporte foi mantida, frente a temperatura de 29,2 °C para a concentração de 40 g L⁻¹ de KOH, registrando portanto, uma diferença de 9,5 °C entre as diferentes concentrações utilizadas para a corrente mais baixa.

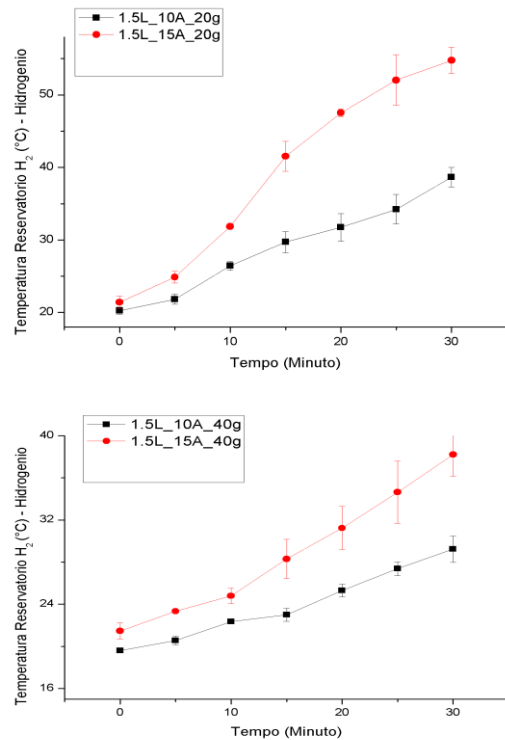
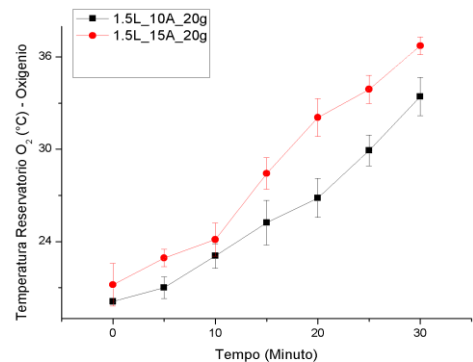


Fig. III. Variação da temperatura do reservatório de Hidrogênio (H₂) durante o processo de eletrólise.

3.3. Temperatura do Reservatório de Oxigênio (O₂)

Foi ainda avaliada a temperatura do reservatório de oxigênio quando o volume de eletrólito suporte foi mantido constante em 1,5 litros, empregando diferentes valores de corrente (10 A e 15 A) e diferentes concentrações de KOH (20 g L⁻¹ e 40 g L⁻¹). Os experimentos foram conduzidos separadamente para cada variável mencionada.

Para a temperatura do reservatório de oxigênio, Fig. IV, observou-se que a utilização da corrente fixa de 10 A promoveu uma diferença de 7,9 °C para as diferentes concentrações do eletrólito supracitadas, sendo registrada o valor 33,4 °C para [KOH] = 20 g L⁻¹, e 25,5 °C para [KOH] de 40 g L⁻¹. Com o uso da corrente 15 A a temperatura registrada foi de 36,7 °C e 32,4 °C para as concentrações de 20 g L⁻¹ e 40 g L⁻¹, respectivamente, apresentando uma menor variação, da ordem de apenas 4,3 °C.



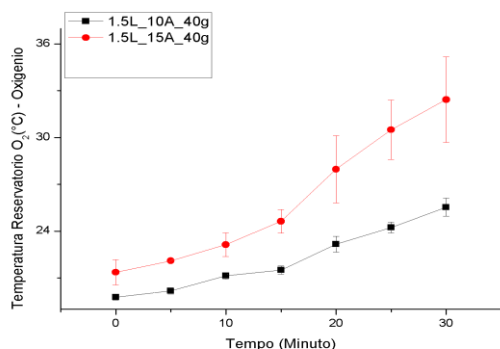


Fig. IV. Variação da temperatura do reservatório de Oxigênio (O₂) durante a eletrólise.

3.4. Temperatura da Chama do Maçarico

Foi avaliada também a temperatura da chama registrada na ponta do maçarico durante a combustão dos gases gerados na eletrólise. Para um volume de 1,5 litros de eletrólito suporte, variando-se os valores de corrente em 10 A e 15 A e também a concentração de KOH (20 g L⁻¹ e 40 g L⁻¹), os resultados obtidos são apresentados na Fig. V.

Conforme pode ser verificado, os experimentos que utilizaram as correntes elétricas de 10 A e 15 A e a concentração do eletrólito de 20 g L⁻¹ registraram as temperaturas da chama de 638,7 °C e 990,8 °C respectivamente, apresentando uma variabilidade de 352,8 °C. Contudo, empregando uma concentração de eletrólito superior (40 g L⁻¹) a temperatura média da chama do maçarico observada ficou em 620,7 °C para 10 A e 884,2 °C com o uso de 15 A, registrando uma variação de 263,5 °C. Deste modo, observa-se que maiores temperaturas foram alcançadas com o uso do eletrólito suporte de concentração inferior.

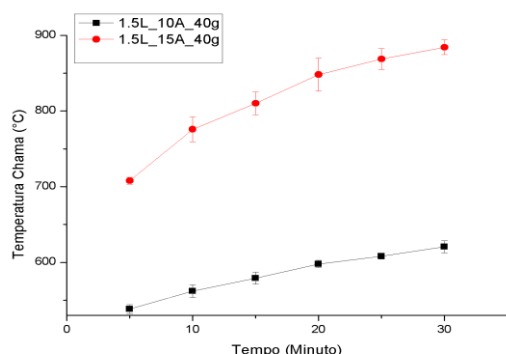
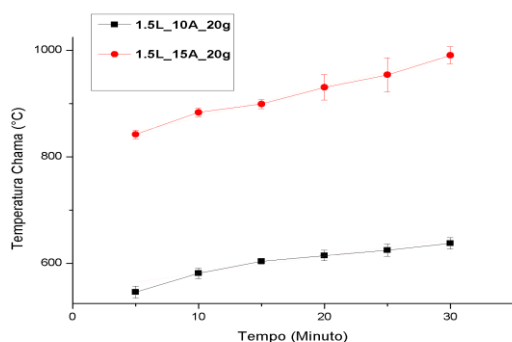


Fig. V. Temperatura da Chama do Maçarico registrada para a combustão dos gases gerados durante a eletrólise.

IV. CONCLUSÕES

Deste modo, pode-se concluir que quando empregado o volume de eletrólito suporte na célula de 1,5 litros com concentração 20 g L⁻¹ de KOH e corrente de 15 A obtém-se o maior valor de temperatura registrado para a chama do maçarico, chegando-se a média de 990 °C. Observou-se nestes experimentos que a temperatura do reservatório de oxigênio, no volume testado, ficou sempre muito abaixo da média apresentada pelo reservatório de hidrogênio, pois o eletrólito do reservatório do gás O₂ descende da energia cinética das câmaras da célula eletrolítica onde se localizam os ânodos, e estes não sofrem interferência da corrente elétrica aplicada nos experimentos. Entretanto, o reservatório de hidrogênio recebe o eletrólito proveniente dos cátodos.

Foi possível observar que não há a emissão de nenhuma fuligem quando utilizado o maçarico para corte, independente do objeto ensaiado, principalmente metais, obtendo-se como resíduo da queima do gás oxi-hidrogênio apenas uma quantidade visível de água.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à todos que tiveram participação nas diversas etapas deste trabalho para a viabilidade deste estudo e agradecem ainda a empresa de Tratamento Térmico TWR – Volta Redonda – RJ por ceder o equipamento necessário para as medições das temperaturas da chama do maçarico.

REFERÊNCIAS

- [1] PINESCHI, S.A.A. *Desenvolvimento de Sistema Compacto de Produção de Gás Rico em Hidrogênio*. 2013. 03 f. Dissertação de Mestrado (Engenharia da Energia) – Universidade Federal de Itajubá. 2013.
- [2] FERREIRA, C.A. *Produção de hidrogênio a partir da decomposição termoquímica da água*. 2011. 09 f. Dissertação de mestrado (Faculdade de Engenharia Química). Universidade Federal de Uberlândia. 2011.
- [3] VASCONCELOS, N. *Reforma a vapor do metano em catalisadores à base de níquel promovidos com nióbia*. 2006. 17 f. Dissertação (Mestrado em Química) Universidade Federal Fluminense. 2006.
- [4] HNYDIUK-STEFAN, A.; SKLADZIEND, J. The Analysis of Parameters of the Cryogenic Oxygen Unit Cooperating with Power Plant to Realize Oxy-fuel Combustion. v. 36. n. 1. p. 39-54. 2015.
- [5] NETO, R.L. *Geração e Combustão do Hidrogênio Obtido Através do Processo de Eletrólise da Água*. Disponível em: <http://sites.poli.usp.br/d/pme2600/2007/Artigos/Art_TCC_018_2007.pdf>. Acesso em: 19 de julho de 2017.
- [6] MAIA, T.A.; BELLIDO, J.D.A.; ASSAF, E.M.; ASSAF, J.M. *Produção de hidrogênio a partir da reforma a vapor de etanol utilizando catalisadores Cu/Ni/g-Al₂O₃*. Revista Nova Química. v. 30. n. 2. p. abril. 2007.
- [7] MODENESI, P.J. Soldabilidade de Algumas Ligas Metálicas – Disponível em: <<http://demet.eng.ufmg.br/wp-content/uploads/2012/10/soldabilidade.pdf>>. Acesso em: 19 de julho de 2017.
- [8] MEDEIROS, W.B.; BOTTON, J.P. Química Verde: Produção de hidrogênio via eletrólise da água como uma alternativa para a geração de energia limpa. Disponível em: <<https://unila.edu.br/sites/default/files/files/William%20Bartolomeu%20de%20Medeiros.pdf>>. Acesso em: 14 de junho de 2017.

Avaliação da Resistência à Corrosão de Diferentes Materiais Metálicos e Revestidos para Aplicação em Ambientes Corrosivos

Juliana Nogueira da Cruz
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Metalúrgica (PPGEM)
Universidade Federal Fluminense
(UFF)
Volta Redonda, Brasil
julianancruz30@gmail.com

Alberto Nei Carvalho Costa
Companhia Siderúrgica Nacional
Volta Redonda, Brasil
alberto.costa@csn.com.br

Elivelton Alves Ferreira
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Metalúrgica (PPGEM)
Departamento de Química
Instituto de Ciências Exatas (ICEx)
Universidade Federal Fluminense
(UFF)
Volta Redonda, Brasil
eliveltonalves@id.uff.br

Letícia Vitorazi
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Metalúrgica (PPGEM)
Departamento de Engenharia
Metalúrgica e Materiais
Escola de Engenharia Metalúrgica de
Volta Redonda (EEIMVR)
Universidade Federal Fluminense
(UFF)
Volta Redonda, Brasil
leticiavitorazi@id.uff.br

Resumo — Os principais tipos de aço atualmente no mercado para utilização como telhas são os aços revestidos com Zn, os revestidos com a liga 55%Al-Zn, os pré-pintados e os aços inoxidáveis. Tal aplicação é baseada na exigida durabilidade e/ou estética, assim como, nas características do ambiente onde o material será empregado. Nesse trabalho, a resistência à corrosão desses aços revestidos e do aço inoxidável Duplex 2205 foi caracterizada de maneira a se avaliar e comparar o emprego desses materiais na forma de telhas quando expostas a ambientes corrosivos contendo íons cloreto. Ensaios de névoa salina e eletroquímicos de potencial de circuito aberto (OCP) e curvas de polarização foram realizados e os resultados mostraram que o aço inox e o pré-pintado foram os mais resistentes. Quando se comparou a resistência à corrosão dos aços revestidos com a liga 55%Al-Zn e com Zn, foi constatado que o com a liga 55%Al-Zn apresentou maior resistência à corrosão do que o revestido com Zn quando expostos aos ambientes supracitados.

Palavras-chave — *aço carbono galvanizado, liga 55%Al-Zn, aço inoxidável, cloreto, corrosão.*

I. INTRODUÇÃO

Atualmente, os principais tipos de aço existentes no mercado para utilização em telhas são o aço revestido com Zn, o aço revestido com a liga 55%Al-Zn, os pré-pintados e os aços inoxidáveis [1], sendo que o emprego de cada um desses materiais depende do ambiente ao qual os mesmos serão expostos. Uma correta especificação do aço em função do tipo de ambiente a ser empregado permite evitar ou minimizar os danos decorrentes do processo de corrosão do material.

Os aços zincados ou galvanizados são aços laminados a frio com revestimento à base de zinco, obtidos a partir do

processo de galvanização. O revestimento de zinco protege o aço contra corrosão atmosférica através da proteção por barreira exercida pela camada de revestimento e da proteção galvânica ou de sacrifício, que ocorre nos casos em que a barreira física encontra-se danificada e expõe simultaneamente o par aço-zinco, de modo que o zinco atue como ânodo de sacrifício [2].

O aço revestido com a liga 55%Al-Zn é a chapa de aço com revestimento composto de 55% Al, 43,5% Zn e 1,5% Si que combina a resistência por barreira oferecida pelo alumínio e o desempenho do zinco em proteger bordas e descontinuidades causadas no revestimento (proteção galvânica) com a função do silício de controlar a reação exotérmica entre a liga Al-Zn e a chapa de aço durante a imersão da tira no banho, possibilitando a formação adequada de uma camada intermetálica constituída por Al, Fe, Zn e Si, a qual permite excelente aderência entre a camada de revestimento e o aço-base [3].

Com o substrato podendo ser revestido com zinco ou com a liga Al-Zn, o aço pré-pintado é produzido por meio da tecnologia de *coil coating*, na qual o material recebe um pré-tratamento que inclui a total limpeza da chapa e a aplicação de um selante químico, que garante a perfeita aderência da tinta ao aço e proteção contra a corrosão, e em seguida, são aplicados, com controle rigoroso, *primers*, tintas, filmes decorativos e protetivos [4].

O aço inoxidável duplex mais conhecido é o SAF 2205, que é amplamente usado nas indústrias químicas, de óleo, gás, papel e celulose, aplicados principalmente em evaporadores, dutos e tanques de condução e armazenamento de material corrosivo [5].

A corrosão é um processo espontâneo de deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente aliada ou não a esforços mecânicos. A corrosão transforma os materiais metálicos de modo a comprometer a durabilidade e o desempenho dos mesmos [6].

No estudo dos processos corrosivos, o conhecimento das diferentes formas de corrosão é muito importante visto que a corrosão pode ocorrer tanto superficialmente quanto internamente no material e isso depende tanto do material quanto do meio em que o mesmo está exposto. Dessa forma, o conhecimento dos tipos de corrosão pode auxiliar no entendimento do mecanismo de degradação do material, bem como, direcionar medidas adequadas de proteção [6].

Em ambientes contendo cloreto, o tipo de corrosão mais comum é a corrosão por pite que afeta pequenas regiões da superfície metálica causando perda de espessura do material metálico originando perfurações e pontos de tensões, o que leva a diminuição da resistência mecânica do material e a possibilidade de fratura [6, 7]. O ataque por pite é influenciado pela composição química do meio corrosivo ou do material metálico, sendo a presença de cloreto no meio corrosivo um fator importante de aceleração da formação de pites no aço [6], uma vez que a corrosão por pite é um tipo de corrosão muito característica de materiais metálicos formadores de películas protetoras (passivas). A quebra da passividade e formação de pites ocorre em geral pela ação de íons halogenetos, principalmente o cloreto. A razão para a agressividade do cloreto tem sido estudada há algum tempo, e algumas possibilidades têm sido formuladas [7].

Neste trabalho a resistência à corrosão das amostras de aços revestidos com zinco e com a liga 55%Al-Zn, o aço inoxidável e a amostra revestida com zinco e depois pré-pinta foram avaliados em câmara de névoa salina e também eletroquimicamente através das técnicas de potencial em circuito aberto (OCP) e a curva de polarização cíclica.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

A. Materiais

Os ensaios de corrosão foram conduzidos com as amostras nas dimensões de 3x3 cm de aço inoxidável Duplex 2205 (fornecida pela Novalloy Comércio de Ligas Ltda. (Cotia, São Paulo, Brasil), com os aços carbono revestidos com zinco e com a liga 55%Al-Zn e também com a amostra revestido com zinco e depois pré-pintado a quais foram fornecidos pela empresa Companhia Siderúrgica Nacional, utilizando um potenciostato/galvanostato (VersaStat 3+, Ametek).

Os ensaios em câmara de névoa salina foram realizados em chapas das amostras com dimensões de 20x15 cm e com as bordas protegidas com fita adesiva. Elas foram colocadas em suportes dentro da câmara de névoa salina Equilam modelo SS 1300EXP - série 00170307, do Laboratório do Centro de Pesquisas da CSN, seguindo como referência as normas ASTM B117 e ABNT NBR 8094.

Para os ensaios eletroquímicos foi utilizada uma célula eletroquímica do tipo Tait, eletrodo de referência de Ag|AgCl saturado com KCl ligado à solução através de um capilar de Luggin e um contra eletrodo de platina. Os

ensaios foram realizados a temperatura ambiente, com aeração, utilizando a solução de NaCl 3,5% m/m preparadas com reagentes com grau analítico e água ultrapura (17,3 MΩ-cm).

B. Potencial de Circuito Aberto

A variação do potencial assumido por cada material estudado em relação ao eletrodo de referência foi acompanhada durante 60 minutos.

C. Curva de Polarização Cíclica

Para realização da curva de polarização foram mantidas as condições dos ensaios de potencial de circuito aberto de cada amostra, mudando-se somente a técnica para voltametria cíclica.

Realizou-se a varredura do potencial anódico com uma taxa de varredura de (1 mV/s), partindo de 0,150 V abaixo do potencial de circuito aberto e revertendo o sentido da varredura quando o potencial atingiu 1,2 V. A varredura foi concluída quando se observou o potencial decrescente.

Devido a alta resistência da amostra pré-pintada, não foram realizadas os ensaios de curvas de polarização para esta amostra.

III. RESULTADOS

A. Névoa Salina

Os resultados obtidos até 480h de exposição dos materiais na câmara de névoa salina são mostrados na Tabela 1.

TABELA 1: RESULTADOS DO ENSAIO EM CÂMARA DE NÉVOA SALINA.

Tempo de ensaio	24 horas	72 horas	480 horas
Material			
Revestido com zinco	Início de corrosão branca.	30% de corrosão branca.	90% corrosão branca, quase iniciando corrosão vermelha.
Revestido com a liga 55%Al-Zn	Escurecimento da amostra devido filme baixo de resina.	Escurecimento da amostra devido filme baixo de resina.	Escurecimento da amostra devido filme baixo de resina.
Pré-pintado	Não houve corrosão.	Não houve corrosão.	Não houve corrosão.
Inox duplex	Não houve corrosão.	Não houve corrosão.	Não houve corrosão.

Na avaliação dos materiais, verificou-se que o material zincado com 24 horas de ensaio já apresentou início de corrosão branca, com 72 horas já havia 30% de corrosão branca e com 480 horas verificaram-se indícios de surgimento de corrosão vermelha, conforme Fig. 1.

O aço revestido com a liga 55%Al-Zn apresentou-se com corrosão branca e escurecimento da sua superfície devido ao filme baixo de resina, conforme Fig. 2.

Os demais materiais estudados apresentaram-se sem surgimento de pontos de corrosão até 480 horas, conforme Fig. 3 e 4.

Com isso, já se observa a superior resistência à corrosão dos materiais pré-pintado e aço inoxidável duplex 2205 em ambientes contendo cloreto.



Fig. 1. Material zincado com corrosão branca após 24 e 480 h de exposição à névoa salina, respectivamente.

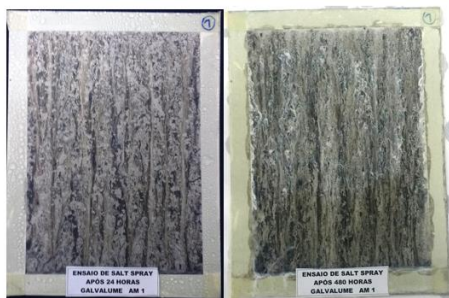


Fig. 2. Aço revestido com a liga 55%Al-Zn com corrosão branca após 24 e 480 h de exposição à névoa salina, respectivamente.



Fig. 3. Pré-pintado sem indícios de corrosão após 24 e 480 h de exposição à névoa salina, respectivamente.



Fig. 4. Aço inoxidável duplex 2205 sem indícios de corrosão após 24 e 480 h de exposição à névoa salina, respectivamente.

B. Potencial de Circuito Aberto

A Fig. 5 mostra o comportamento dos potenciais de circuito aberto das amostras em função do tempo em solução de NaCl 3,5% m/m. Uma curva de cada amostra realizada em duplicata foi selecionada para apresentação dos resultados na Fig. 5.

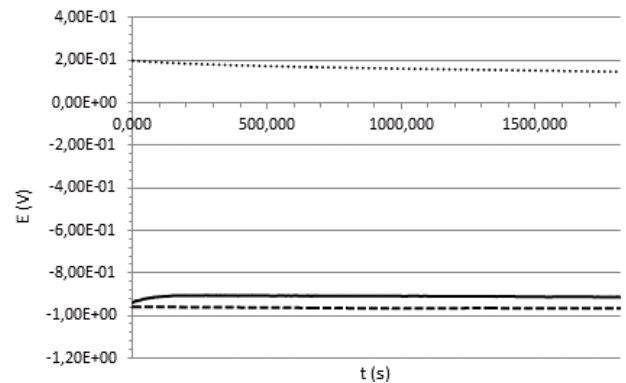


Fig. 5. Potenciais de circuito aberto das amostras de aço inox (...), aços revestidos com Zn (- - -) e revestido com a liga 55%Al-Zn (___) em solução de NaCl 3,5%.

Os aços revestidos com zinco e o revestido com a liga 55%Al-Zn apresentaram OCP médio de -0,964 e -0,937 V, respectivamente e o aço inoxidável duplex 2205 apresentou OCP mais alto, 0,173 V.

Durante as medidas de potenciais, verificou-se que o material revestido com zinco inicialmente apresentou diminuição de potencial que com o tempo manteve-se com um período de estabilidade e posteriormente apresentou um leve aumento, diminuindo novamente até manter um período sem grandes variações. Com isso, supõe-se a ocorrência de dissolução da película passiva, durante o decréscimo inicial do valor do potencial, a repassivação, após o pequeno período de estabilidade do potencial e nova dissolução da película passiva formada, quando então, chega-se a estabilização do potencial.

O aço revestido com a liga 55%Al-Zn apresentou, inicialmente, aumento de potencial, devido a formação de película passiva, que com o tempo foi decrescendo pela dissolução desta película, até manter-se sem grandes variações.

O potencial do aço inoxidável duplex apresentou queda devido a dissolução da fina camada de óxido presente na superfície do material, até estabilização.

C. Curva de Polarização

Na Fig. 6 estão representadas as curvas de polarização dos materiais em estudo.

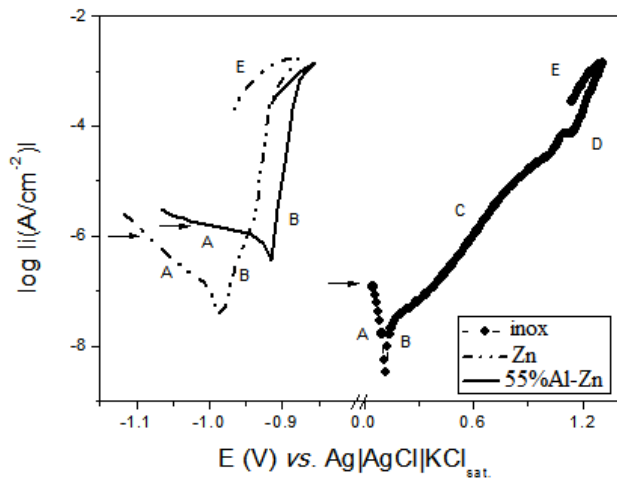


Fig. 6. Curvas de polarização das amostras de aço inoxidável (inox), aços revestidos com Zn (Zn) e com a liga 55%Al-Zn em solução de NaCl 3,5%.

As curvas de polarização dos aços revestidos com zinco e o com a liga 55%Al-Zn apresentaram ambas 3 regiões distintas e a do aço inox 5 regiões. A região A, nas três curvas representadas, corresponde à parte catódica da curva, com início abaixo do potencial de circuito aberto.

O ponto de inversão das regiões A e B define o potencial de circuito aberto caracterizado por 0,119 V para o inox, -0,916 V para o aço revestido com a liga 55%Al-Zn e -0,988 V para o revestido com Zn, com os valores médios obtidos na curva de potencial de circuito aberto da Fig. 5 de 0,173; -0,937 e -0,964 V, respectivamente. Estes resultados estão coerentes com os de potencial em circuito aberto e mostram, portanto, que o aço inox possui potencial mais nobre, por isso ele é mais resistente à corrosão seguido pelo revestido com a liga 55%Al-Zn e pelo revestido com zinco. Quando se compara os potenciais de corrosão entre o aço revestido com a liga e o revestido com zinco, percebe-se que o Al aumenta a resistência à corrosão do revestimento com zinco.

A região B corresponde à varredura do potencial onde a oxidação é maximizada seguida da região C (para o caso do aço inox) onde ocorre decréscimo do coeficiente de inclinação da região que pode estar associada à passivação do material possivelmente pela formação de óxido. Esse comportamento não foi observado nas curvas referentes aos das amostras revestidas com o zinco e com a liga 55%Al-Zn e isso pode estar associado formação de um filme óxido pouco protetivo.

Na região D (para o aço inox) a densidade de corrente aumentou exponencialmente em potencial específico denominado potencial de pite (com inclinação superior a região C). A partir desta região o potencial foi invertido. No caso das de aço revestidas com Zn e com a liga 55%Al-Zn, os potenciais foram invertidos a partir da região B.

A inversão de potencial pode fornecer informações sobre a possibilidade de reparar o filme danificado. Os valores de densidade de corrente maiores que os obtidos na varredura direta (antes de inverter a varredura) indicam que a película passiva danificada não é reparada e/ou a corrosão por pites foi iniciada, enquanto valores de

correntes menores refletem a reparação de filme sob as mesmas condições e, portanto, o processo de corrosão não é iniciado [8].

Para todas as amostras as densidades de corrente após a inversão do potencial foram maiores que as densidades de corrosão antes da inversão indicando que todas elas podem sofrer, neste eletrólito, corrosão por pites.

A amostra de aço inox apresentou valor de potencial de pite significativamente maior que os dos aços revestidos com a liga 55%Al-Zn e com o zinco. A presença de Cr no aço inox favorece o alto valor de potencial de pite quando comparado com os outros metais [7]. Com relação à diferença de resistência à corrosão entre o aço revestido com a liga 55%Al-Zn e o revestido com o zinco, a presença do Al favorece a maior resistência contra corrosão por pite deste revestimento.

IV. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos por meio da câmara de névoa salina mostraram que o aço inoxidável e o aço revestido com Zn e pré-pintado não apresentaram processos corrosivos quando analisadas visualmente, evidenciando que a pré-pintura do aço revestido com Zn protege o material contra corrosão.

Os resultados dos ensaios eletroquímicos mostram uma maior resistência à corrosão por pites do aço inoxidável seguido pelos aços revestidos com a liga 55%Al-Zn e Zn. Não foi possível realizar ensaios eletroquímicos com a amostra de aço pré-pintada uma vez que a resistência à transferência de carga é bem elevada devida a alta resistência à corrosão proporcionada pela pintura.

V. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio técnico dado pela Companhia Siderúrgica Nacional.

REFERÊNCIAS

- [1] Manual Técnico Telhas de Aço. Associação Brasileira da Construção Metálica. 2009.
- [2] Tada, E.; Kaneko, H.; Galvanic corrosion of a Zn/steel couple in aqueous NaCl. ISIJ International. 2011, Vol.51(11), p.1882-1889.
- [3] Coni, N., Gipiela, M. L., D'Oliveira, A. S. C. M., & Marcondes, P. V. P. (2009). Study of the mechanical properties of the hot dip galvanized steel and galvalume®. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 31(4), 319-326.
- [4] Ueda, K; Kanai, H; Suzuki, T; Amari, T. Effects of mechanical properties of paint film on the forming of pre-painted steel sheets. Progress in Organic Coatings, 2001, Vol.43(4), pp.233-242.
- [5] García-Rentería, M.A.; López-Morelos, V.H.; González-Sánchez, J.; Gracia-Hernández, R.; Dzib-Pérez, L.; Curiel-López, F.F. Effect of electromagnetic interaction during fusion welding of AISI 2205 duplex stainless steel on the corrosion resistance. Applied Surface Science. 2017, Vol. 396, pp.1187-1200.
- [6] Gentil, V. Corrosão. 3ª ed., Rio de Janeiro. LTC Livros Técnicos e Científicos, 1996.
- [7] Frankel, G.S. Pitting Corrosion. ASM Handbook, Vol. 13A: Corrosion: Fundamentals, Testing and Protection, ASM International, p.236-241, 2003.
- [8] Ferreira, E. A.; Noce, R. D.; Fugivara, C. S.; Benedetti, A. V.; J. Electrochem. Soc. 2011, 132, 2854.

IV Congresso Ibero-Americano de Empreendedorismo, Energia, Ambiente e Tecnologia

Simulação da geração de energia a partir de biomassa (caroço de azeitona)

¹ Hidila Souza Teixeira da Silva
Curso de Engenharia Química
Universidade de Vassouras
Vassouras, Brasil
hidila2@gmail.com

² Wilson Ricardo Chimatti
Mestrado Profissional em Ciências Ambientais
Universidade de Vassouras
Vassouras, Brasil
wilson@antaresbrasil.com.br

³ Marisa Fernandes Mendes
Departamento de Engenharia Química
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Seropédica, Brasil
marisamendes@globom.com

⁴ David Vilas Boas de Campos
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Solos
Rio de Janeiro, Brasil
davidvbcampos@hotmail.com

⁵ Cristiane de Souza Siqueira Pereira
Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa
Universidade de Vassouras
Vassouras, Brasil, RJ
crispereirauss@gmail.com

Resumo: A utilização de biomassas para a produção de energia tem sido avaliada por muitos pesquisadores. As biomassas são materiais constituídos por substâncias de origem orgânica e apresentam como vantagem a possibilidade de utilização de resíduos com elevada capacidade calorífica. De acordo com informações pela indústria geradora do resíduo, no processo de descaroçamento da azeitona, geram-se aproximadamente 123.500,00 kg/mês do resíduo. Com isso é de extrema importância que sejam desenvolvidos processos para a reutilização deste material. A reação exotérmica de combustão está ligada com a quantidade de energia interna contida no combustível, sendo que quanto maior a capacidade calorífica, maior é energia obtida na queima, o que favorece a utilização dessa biomassa como uma opção combustível, cuja capacidade calorífica está entre $17,79 \pm 0,041 \text{ MJ. kg}^{-1}$. O presente trabalho avaliou com o auxílio da simulação computacional a utilização do caroço de azeitona como fonte de energia térmica (vapor) em uma pequena indústria do ramo alimentício da cidade de Três Rios (RJ). Compararam-se os resultados obtidos com dados da empresa e com outras formas de biomassa. Considerando uma T e P 480°C e 40bar respectivamente, a caldeira estudada apresentou a eficiência térmica de 88% onde um fluxo de vapor de 1042,00 kg/h foi obtido. O balanço energético desse estudo permitiu avaliar a eficiência da queima térmica e favorecer uma queima mais limpa criando um conceito de sustentabilidade, em relação à queima de gás natural, que por sua vez é muito eficiente, porém, conta com a desvantagem de ser poluente e um produto derivado do petróleo, uma fonte de energia finita. A utilização do caroço de azeitona como biomassa colabora na redução e otimização de problemas relacionados efeito estufa e evidencia que sua utilização é uma boa opção de substituição fontes energéticas fósseis.

Palavras-Chaves: cogeração; biomassa, energia renovável.

I. INTRODUÇÃO

O setor industrial é responsável por cerca de 1/3 do consumo de energia e uma das características dos processos industriais é a queima de combustíveis fósseis. No Brasil estima-se que 80% da energia produzida sejam oriundas da queima desses combustíveis e devido às questões ambientais e políticas, as ações governamentais fortalecem o conceito de produção de energia alternativa. A biomassa é uma das fontes para produção de energia com maior potencial de crescimento. Dentro do conceito de biorrefinaria e do

conceito de energia “limpa”, as usinas de processamentos de biomassas podem contribuir com tecnologias para suprir suas necessidades energéticas a partir de seus resíduos.

Segundo a International Energy Agency (IEA) entre os anos de 2009 e 2012, a biomassa já representava mais de 12% do consumo energético global [1]. Estes fatos, somados às características favoráveis do Brasil, de elevada produtividade de biomassa por, justificam estudos e pesquisas na área [3].

A produção de energia elétrica a partir da biomassa transformou-se em um dos principais estímulos aos investimentos na produção de energia, principalmente em sistemas de cogeração. A quantificação da biomassa através de suas propriedades físicas e químicas é importante para estabelecer o procedimento de conversão. A compreensão da natureza da biomassa influencia na escolha da tecnologia que pode ser utilizada no processamento de geração de energia [4]. Destacam-se como principais rotas tecnológicas: ciclo a vapor com turbinas de contrapressão, ciclo a vapor com turbinas de condensação e extração e ciclo combinado integrado à gaseificação da biomassa [10].

O presente trabalho avaliou com o auxílio da simulação computacional, a utilização do caroço de azeitona como fonte de energia térmica (vapor).

O caroço de azeitona de acordo com [5] é constituído por células lignificadas mais ou menos comprimidas e de parede celular espessa que formam uma capa que envolve células parenquimatosas de parede celular fina. O resíduo apresenta alta densidade e umidade média de 15%.

De acordo com informações obtidas pela indústria geradora do resíduo, no processo de descaroçamento, em média, 19 mil kg/dia de azeitonas inteiras, geram-se aproximadamente 5 mil kg/dia de resíduo. A partir destes dados, observa-se a necessidade que sejam desenvolvidas rotas tecnológicas visando o seu reaproveitamento. A simulação do processo foi desenvolvida no software SuperPro Designer v.9.

O software SuperPro Designer fornece balanço material e energético, dimensionamento de equipamentos, cálculo de custos, avaliação econômica, avaliação de impactos ambientais, etc. (Inteligente, 2018). Uma usina de cogeração de ciclo combinado movida a esta biomassa foi proposta.

II. MATERIAIS E MÉTODOS.

A. Biomassa Utilizada

O caroço, resultado do processo de descaroçamento, é submetido a um processo secagem natural. Após secos, são adicionados como combustível na caldeira. A Figura 1 ilustra o resíduo obtido após processo de descaroçamento das azeitonas de mesa, desenvolvido na empresa Antares Brasil.

FIGURA 1: RESÍDUO GERADO NO PROCESSO DE DESCAROÇAMENTO DA AZEITONA



A reação exotérmica de combustão está ligada com a quantidade de energia interna contida no combustível, sendo que quanto maior a capacidade calorífica, maior é energia obtida na queima, o que favorece a utilização dessa biomassa como uma opção combustível. A literatura apresenta o poder calorífico do caroço de azeitona de 20,46 MJ/kg [14] e 17,79 MJ/kg. [5]

A tabela 1 compara os dados do poder calorífico da azeitona e outros materiais usados como fonte de energia, disponíveis na literatura. Carvão, Madeira, Gás natural [7]. Bagaço da cana-de-açúcar [8].

Tabela 1. Poder calorífico de materiais usados como fonte de energia.

Parâmetro	Fontes energéticas			
	Carvão	Madeira	Bagaço da cana-de-açúcar	Gás natural
Capacidade calorífica	0,24 cal/g°C	0,48 cal/g°C	1,32 kcal/kg	1,32 cal/g°C

B. Simulação Computacional

Realizou-se o levantamento das principais variáveis sobre o caroço de azeitona o qual serviu como referencial teórico do presente estudo. De acordo com da Silva Gehlen (2016) [5] a caracterização da biomassa através de suas propriedades físicas e químicas é fundamental para determinar o seu comportamento durante o processo de conversão energética.

Cadastrou-se no banco de dados do programa, uma mistura para representação do caroço de azeitona como combustível, considerando a composição química apresentada na Tabela 2.

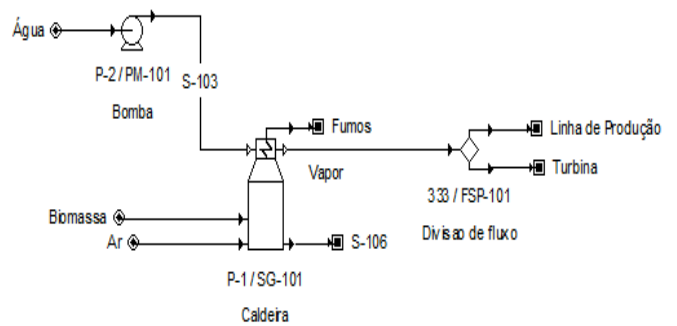
Tabela 2. Composição química do caroço de azeitona in natura

Resíduo	Composição Mássica(%)
Celulose	21,69
Holocelulose	41,89
Hemicelulose	20,19
Lignina	16,23

Fonte: da Silva Gehlen (2016)

Foram escolhidos os equipamentos utilizados no processo: caldeira, bomba e turbina a vapor, conforme De Pretto, Tardioli, & Costa, (2017) [12]. Um fluxograma esquemático da simulação do processo termoquímico é apresentado na Figura 2.

FIGURA 2. REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA QUEIMA DA BIOMASSA NA CALDEIRA.



O SuperPro Designer estabelece uma relação entre o fluxo de massa de matéria prima, com a quantidade de água utilizada para geração de vapor, portanto a quantidade de água não precisou ser fornecida.

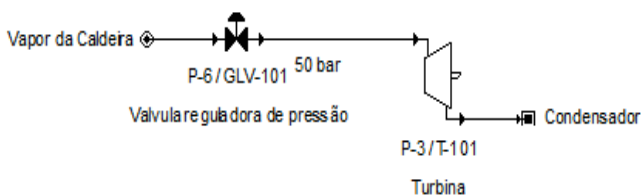
A Tabela 3 apresenta os dados do processo.

Tabela 3. Dados do Processo

<i>Dados entrada resíduo azeitona</i>	
Fluxo Mássico kg/h	14
Temperatura (°C)	40
Pressão (bar)	1,01
<i>Geração de vapor (Caldeira)</i>	
Temperatura (°C)	184
Pressão (bar)	11

O fluxo mássico de vapor produzido pela caldeira é o parâmetro mais importante e mais significativo na geração de potência de eixo e, conseqüentemente, de potência elétrica. O cenário de cogeração proposto é ilustrado na Figura 3.

FIGURA 3. REPRESENTAÇÃO DA SIMULAÇÃO DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM UMA TURBINA À VAPOR



Considerou-se que 50% do vapor saturado produzido na caldeira são direcionados ao processo industrial. O vapor remanescente é alimentado na turbina, com o objetivo de transformar a energia mecânica em energia elétrica. O vapor produzido pela turbina é direcionado para um condensador e pode ser reaproveitado.

Para a turbina a vapor, as condições de operação são fornecidas pela corrente de saída da caldeira e pressão de saída da turbina. A eficiência do gerador de potência elétrica foi definida como 90% da potência de eixo gerada.

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A) Sistema de combustão e cogeração.

Operando com uma eficiência de 88% a caldeira gera uma demanda de vapor de 260 kg/h onde 130 kg são direcionados para a turbina e outra metade direcionados para aplicações na linha de produção. Para cada hora trabalhada, a turbina gera aproximadamente 8kw de energia. Considerando a operação do sistema 8h por dia e 26 dias trabalhado, a geração energética mensal é mais bem detalhada na tabela 4.

Tabela 4. Geração energética mensal.

Parâmetros	Tempo (h)	Vapor gerado (kg/h)	Alimentação biomassa (kg/h)	Gerado (kW/h)
-	1	260	14	8
1 dia trabalhado	8	2.080	112	64
26 dias trabalhados	260	67.600	2.912	1.664

O valor energético mensurado é a previsão da operação do sistema, para as condições descritas a fim de atender as necessidades da fonte geradora de resíduo, uma vez que, existe a possibilidade para que o processo seja modificado se adequando a outras plantas.

B) Balanço de Massa e energia

No geral o SuperPro Desing faz um balanço de massa e de energia para o processo de cogeração. Os resultados são informados na tabela 5 e 6 respectivamente.

Tabela 5. Balanço de massa das correntes

Componente	Entrada (kg/h)	Saída (kg/h)
Dióxido de Carbono	0,00	103,43
Celulose	26,14	0,00
Hemicelulose	25,14	0,00
Lignina	5,16	0,00
Nitrogênio	1.136,08	1.136,08
Oxigênio	344,89	44,98
Água	1.042,81	1.295,82
Total	2.580,25	2.580,32

Tabela 6. Balanço de energia das correntes

Parâmetros	Caroço de Azeitona	Ar
Entalpia total (kW/h)	1,15	10,41
Entalpia Específica (kcal/kg)	17,45	6,05
Capacidade de calor (kcal/kg-°C)	0,44	0,24

A entrada de oxigênio no sistema dá se pela corrente de ar/combustível na alimentação e de 15% percentual de excesso de ar operados na caldeira. As composições do resíduo foram totalmente consumidas no processo, isso ocorre pela combustão completa do material gerando CO₂ e água.

Há uma diferença da entalpia específica da corrente do resíduo de 17,45 kcal/kg em com a corrente de ar 6,05 kcal/kg, isso ocorre devido à capacidade calarorífica de ambos 0,44 kcal/kg-°C e 0,24kcal/kg-°C.

Para ar, a entalpia total é maior do que para o resíduo do caroço de azeitona, isso ocorre devido à alimentação ar/combustível requeridos no sistema.

IV. CONCLUSÃO

Quando usamos o termo biorrefinaria e bioenergia há inúmeros conceitos que é de extrema importância avaliar, por exemplo, a capacidade calorífica. Caldeiras, em geral, são utilizadas para fornecer energia em processos industriais usando combustíveis derivados do petróleo. No entanto, se resíduos forem utilizados como combustível, isso poderia diminuir, ou até mesmo, retirar a necessidade de importar energia de fontes externas, como combustíveis fósseis. A queima de gás natural, por exemplo, é altamente eficiente, pois a propriedade de ser derivado do petróleo favorece isso, por outro lado, a desvantagem é o fato que o petróleo seja uma fonte de energia finita.

Quando comparado com outra fonte de biomassa, exemplo o resíduo do bagaço da cana de açúcar, como avaliado por REIS, J.P. 2015[2], o consumo de combustível na caldeira por mês seria 8.800,00 kg/mês considerando uma eficiência de 76% e a caldeira trabalhando 4 horas por dia, 22 dias por mês, a utilização de caroço de azeitona como resíduo torna-se se uma boa opção, para as condições propostas nesse trabalho.

Os sistemas de cogeração reduzem emissões de gases com efeito de estufa e aumentam a eficiência energética em comparação com produção de energias elétricas e térmicas (tipicamente 49% para produção de energia e 75% para sistemas de cogeração [6]). Além disso, a queima de biomassa gera um baixo impacto ambiental, onde é possível reduzir os índices de aquecimento global.

No âmbito da engenharia química, um estudo termodinâmico pode ser avaliado. O combustível (resíduo) reage com comburente (oxigênio presente no ar) gerando CO₂ e energia, na forma de vapor. Sendo assim o balanço de massa geral pôde ser identificado como: entra + gerado - consumido = sai, sendo o consumido o resíduo do caroço de azeitona e o gerado o gás CO₂ caracterizando uma combustão completa e que o sistema operou no estado não-estacionário.

REFERÊNCIAS

- [1] International Energy Agency (IEA) – disponível em www.iea.org Acesso em: 02/08/2018.
- [2] Reis, J.P.; Kluck, W. Geração de energia (vapor) a partir da queima de biomassa (bagaço de cana-de-açúcar) XI Congresso Brasileiro de Engenharia Química e Iniciação Científica (COBEQ). Campinas SP Julho de 2015. Pdf disponível em: <http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/chemicalengineeringproceedings/cobeqic2015/419-34037-261583.pdf>. Acesso: 08/09/2018.
- [3] Cortez, Luís Augusto Barbosa. Lora, Electo Silva. Olivares Gómez, Edgardo. “Biomassa para energia.” Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2008.
- [4] Brion, Camile. Caroço de azeitona (*olea europea L.*) preparação, caracterização e sua aplicação como biossorvente na remoção do corante violeta de metila de solução aquosa. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Pampa, 2016.
- [5] Gehlen, Gustavo da Silva. Robinson, Camila. Pinz, Cibele, Lima Ariana. Silva, Janice. “Caracterização de casca de aveia, caroço de azeitona e caroço de pêssego para fins energéticos.” Forum internacional de resíduos sólidos. Porto Alegre, junho 2016. disponível em: <http://www.institutoventuri.org.br/ojs/index.php/firs/article/view/64/51> Acesso em: 02/09/2018
- [6] Sirola, J.J.; Edgar, T.F. Process energy systems: Control, economic, and sustainability objectives Computers & Chemical Engineering Volume 47, 20 December 2012, Pages 134-144
- [7] Santos, J.C.O.; Silva, M.A.; Souza, A.G.; Sanos, I.M.G.; Fonseca, V.M.; Carvalho, L.G.; Azevedo, J.B. Estimativa da capacidade calorífica de óleos lubrificantes automotivos por DSC. In: 3º Congresso Brasileiro de P & D em Petróleo e Gás. Salvador, 2005.
- [8] Atchison, J. E. Making the bagasse avaliabe for pulp, paper, board, fiber board partcle and others industrial products at what price equivalent fuel values of bagasse and other fibrous roe material as compared to fossil fuel. In: Technologists, 16., São Paulo. ISSCT 1977. p. 3129-3144.
- [9] Bludowsky, T.; Agar, D. W.; “Thermal integrated bio-syngas-production for biorefineries.” Chemical Engineering Research and Desing, v.87, p.1328-1339, 2009.
- [10] http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par2_cap4.pdf. disponível em pdf. Acesso dia 05/09/2018
- [11] http://www.intelligen.com/superpro_overview.html - Acesso dia 02/09/2018.
- [12] De Pretto, Cristine; Tardioli, Paulo Waldir; Costa, Caliane Bastos Borba. Assessing energetic and available fuel demands from a soybean biorefinery producing refined oil, biodiesel, defatted meal and power. Computers & Chemical Engineering, v. 104, p. 259-270, 2017.
- [13] Carvalho Júnior, J. A., Mcquay, M. Q. *Princípios de Combustão Aplicada*. Editora da UFSC, 2007.
- [14] Mata-sánchez, J. et al. Statistical evaluation of quality parameters of olive stone to predict its heating value. Fuel. v.113, p. 750-756, 2013
- [15] Lim, J. S.; Manan, Z. A.; Alwi, S. R. W.; Hashim, H., 2012, “A review on utilisation of biomass from rice industry as a source of renewable energy. Renewable and Sustainable Energy Reviews”, Vol. 16, pp. 3084-3094
- [16] Chimatti, W. Fabricação de subprodutos gerados a partir do resíduo do processo de descaroçamento e seleção de azeitonas brutas. Trabalho de Conclusão do Curso de Química Industrial. Universidade Severino Sombra, Vassouras-RJ, 2012.

Estudo teórico dos aminoácidos Metionina e Glicina como possíveis inibidores de corrosão

Vitor de Oliveira Arantes
Programa de Pós Graduação em
Engenharia Metalúrgica
Universidade Federal Fluminense
Volta Redonda, Brasil
vitor_arantes@id.uff.br

Elivelton Alves Ferreira
Programa de Pós Graduação em
Engenharia Metalúrgica
Universidade Federal Fluminense
Volta Redonda, Brasil
eliveltonalves@id.uff.br

Lilian Weitzel Coelho Paes
line 2: *Departamento de Ciências
Exatas*
Universidade Federal Fluminense
Volta Redonda, Brasil
lilianweitzel@id.uff.br

Resumo —Este trabalho propõem o estudo dos aminoácidos Metionina e Glicina como inibidores orgânicos de corrosão, realizando uma caracterização químico quântica utilizando da metodologia do DFT para associar propriedades anticorrosivas pela avaliação dos orbitais moleculares de fronteira HOMO (HighestOccupied Molecular Orbital) e LUMO (LowestUnoccupied Molecular Orbital), a diferença de energia entre estes orbitais (ΔE), dureza (η), eletronegatividade (χ) e fração de elétrons transferidos (ΔN), além dos índices de Fukui

Palavras chave —inibidores de corrosão, DFT, aminoácidos, eco-friendly

I. INTRODUÇÃO (HEADING I)

Corrosão é a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente aliada ou não a esforços mecânicos. Devidos as perdas econômicas geradas para empresas e governos, vem se tornado um tecnológico atual. Os problemas de corrosão são freqüentes nas mais variadas atividades como, por exemplo, na indústria química, petrolífera, naval, de construção civil e em obras de arte como monumentos históricos[5].

Uma alternativa a esse problema e o desenvolvimento de técnicas cada vez mais eficazes de combater à corrosão, sendo essas técnicas os revestimentos, a proteção anódica e catódica e os **inibidores de corrosão**.

Inibidores de corrosão são substâncias que, quando adicionadas em pequenas quantidades a um ambiente potencialmente corrosivo para um metal ou liga, efetivamente reduzem a velocidade de corrosão, diminuindo a tendência da reação do metal ou da liga com o meio. Porém atualmente é imperativo aliar desenvolvimento e meio ambiente, com isso um grupo de compostos vem ganhado destaque no cenário industrial.

Nas últimas décadas, o uso de compostos naturais, não tóxicos e ecologicamente amigável (eco-friendly) são requeridos pela indústria como inibidores de corrosão. Frente a essa demanda os inibidores

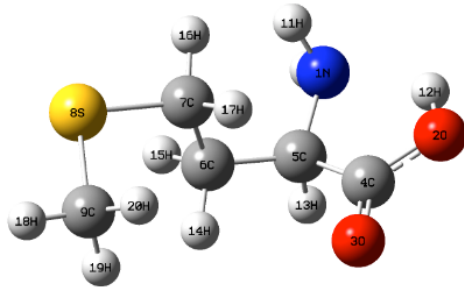
de corrosão orgânicos, que são geralmente, compostos orgânicos contendo instaurações e/ou grupamentos fortemente polares contendo nitrogênio, oxigênio ou enxofre, cuja estrutura geralmente possui partes hidrofóbicas e hidrofílicas ionizáveis são uma forte opção de proteção aliada a questões ambientais. Neste contexto um grupo de compostos que se destacam são os aminoácidos devido a sua estrutura apresentarem oxigênio e nitrogênio podendo as vezes conter enxofre.

Uma ferramenta útil no estudo dos inibidores orgânicos de corrosão é o estudo químico quântico, através da Modelagem Molecular, utilizando a Teoria do Funcional da Densidade (DFT), estabelecendo relação de parâmetros quânticos com os orbitais moleculares de fronteira HOMO (HighestOccupied Molecular Orbital) e LUMO (LowestUnoccupied Molecular Orbital), a diferença de energia entre estes orbitais (ΔE), dureza (η), eletronegatividade (χ) e fração de elétrons transferidos (ΔN), além dos índices de Fukui para a avaliação da eficiência de inibição da corrosão.

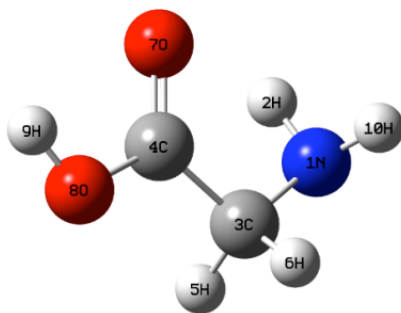
Então visando à necessidade de tratamentos superficiais que sejam eficazes no combate a corrosão com efeito reduzido de impacto ao meio ambiente, este estudo para investigar através de cálculos quânticos a eficiência de inibição dos aminoácidos Metionina (Met) e Glicina (Gly), foi desenvolvido.

II METODOLOGIA

Os cálculos quânticos foram realizados utilizando o método da Teoria do Funcional de Densidade (TFD) com o funcional B3LYP com um conjunto de base 6-311+G, através dos programas Gaussian 09 W e GausView 5.0.9 para sistemas Windows, visando obter parâmetros eletrônicos e estruturais com finalidade de associar propriedades anticorrosivas aos aminoácidos Metionina (Met) e Glicina (Gly) em fase solvente sendo o solvente ácido clorídrico.



Metionina (Met)



Glicina (Gly)

Figura 1 - Estrutura dos aminoácidos estudados.

A Teoria do funcional de densidade (TFD) tem sido amplamente usado no estudo da reatividade química e seletividade das moléculas [19]. De acordo com o teorema de [20], o potencial de ionização (I) e de afinidade eletrônica (A) dos inibidores serão calculados usando (2.1) e (2.2):

$$I = -E_{HOMO} \quad (2.1)$$

$$A = -E_{LUMO} \quad (2.2)$$

A energia $HOMO$ elevada corresponde à molécula mais reativa nas reações com eletrófilos (espécie que possui afinidade com a outra espécie doadora, receptor), enquanto menor energia do $LUMO$ é essencial para reações moleculares com nucleófilos (possui par de elétrons disponível para a doação, doador) [21].

A diferença de energia $HOMO - LUMO$, também chamado de GAP , indica que quanto menor a diferença energética do $HOMO/LUMO$, maior a eficiência de inibição de corrosão. Com base no $HOMO$, $LUMO$ e GAP também será possível determinar qual dos funcionais será mais indicado para o estudo.

Eletronegatividade (χ) será estimada usando (2.3):

$$\chi = \frac{I+A}{2} \quad (2.3)$$

Dureza química (η), é definido por Ralph Person [22], como sendo uma espécie menos polarizável que poderá ser obtida a partir da (2.4)

$$\eta = \frac{I-A}{2} \quad (2.4)$$

A fração de elétrons transferidos (ΔN) a partir da molécula de inibidor para o átomo metálico pode ser calculada de acordo com a teoria de Pearson [22].

Para uma reação de dois sistemas com diferentes eletronegatividades (como uma superfície metálica e uma molécula inibidora) o seguinte mecanismo acontecerá: o fluxo eletrônico ocorrerá a partir da molécula com a eletronegatividade menor para a de maior valor, até que os potenciais químicos sejam os mesmos. Para este cálculo será utilizada (2.5) [23]:

$$\Delta N = \frac{\chi_{Fe} - \chi_{inh}}{2(\eta_{Fe} + \eta_{inh})} \quad (2.5)$$

Onde χ_{Fe} e χ_{inh} denotam a eletronegatividade absoluta do ferro e da molécula inibidora, respectivamente. η_{Fe} e η_{inh} denotam a dureza absoluta do ferro e da molécula inibidora, respectivamente. De modo a calcular a fração de elétrons transferidos, o valor teórico para a eletronegatividade da massa de ferro e de $\chi_{Fe} = 7,0$ eV [23] e uma dureza global de $\eta_{Fe} = 0$, assumindo, para um volume metálico, $I = A$ [24]. A diferença de eletronegatividade dirige a transferência de elétrons e a soma dos parâmetros de dureza atua como uma resistência [22].

De acordo com o modelo de transferência de carga simples para doação e retro doação de cargas proposto recentemente por Gomez et al. [25], um processo de retro doação eletrônica pode estar ocorrendo e rege a interação entre a molécula inibidora e a superfície do metal. O conceito estabelece que, se ocorrerem ambos os processos, ou seja, transferência de carga para a molécula e retro doação da molécula, a variação de energia é diretamente proporcional ao grau de dureza da molécula, tal como indicado na (2.6):

$$\Delta E_{Back-donation} = -\frac{\eta}{4} \quad (2.6)$$

O $\Delta E_{retrodoação}$ implica que quando $\eta > 0$ e $\Delta E_{retrodoação} < 0$ a transferência de carga para uma molécula, seguido de uma retrodoação da molécula, é favorecida energeticamente. Neste

contexto, é possível comparar a estabilização entre as moléculas inibidoras, uma vez que haverá uma interação com o mesmo metal. Os índices de Fukui foram calculados utilizando o programa UCA-FUKUI_V2 uma vez que fornece uma boa análise da seletividade local de um inibidor de corrosão.

III RESULTADOS E DISCUSSÕES

A tabela 1 apresenta os parâmetros quânticos calculados. A energia do HOMO revela uma característica importante para a análise, pois quanto maior a energia do HOMO melhor a eficiência do inibidor.

A diferença (ΔE) entre as energias dos orbitais é um importante indicador da atividade inibidora. Quanto menor a diferença, maior a eficiência de inibição de corrosão. A dureza absoluta (η) é

importante parâmetro para medir a estabilidade molecular e a reatividade. Espera-se que o inibidor com o menor valor de dureza absoluta tenha a maior eficiência de inibição. Sabe-se uma molécula com alta eletronegatividade é indicativo de baixa eficiência de inibição. O número de elétrons transferidos (ΔN) também é um parâmetro importante, sendo que a maior fração de elétrons transferidos está associada ao melhor inibidor.

O orbital HOMO está relacionado com a facilidade de transferência eletrônica: um acréscimo na energia deste orbital implica em aumento da eficiência de inibição. A análise deste orbital mostra que ele está principalmente localizado nas cadeias laterais nos radicais dos aminoácidos apresentado na figura 2.

Tabela 1 - Parâmetros quânticos calculados

Inibidor	HOMO(eV)	LUMO (eV)	ΔE (eV)	η (eV)	χ (eV)	ΔN (eV)
Met	-6,38	-0,49	5,89	2,94	3,34	0,36
Gly	-7,25	-0,36	6,89	3,44	3,81	0,48

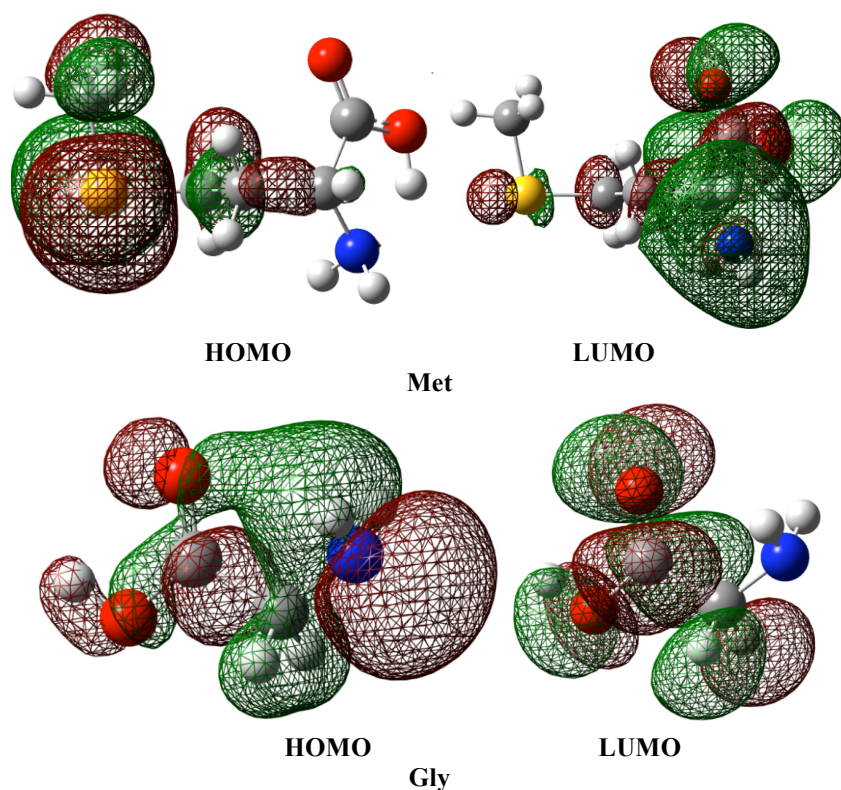


Figura 2 - Orbitais de Fronteira Metionina (Met) e Glicina (Gly) calculados B3LYP/6-311+ G (d,p)

A Glicina possui uma hidroxila em sua cadeia lateral, o que desfavorece a transferências e a Metionina apresenta átomo de enxofre (S), o que implica em um favorecimento da doação de cargas. A análise da reatividade local obtido.

Tabela 2: Índices de Fukui calculados

<i>Met</i>			<i>Gly</i>		
	<i>f</i> ⁻	<i>f</i> ⁺		<i>f</i> ⁻	<i>f</i> ⁺
1N	0.0403	0.0310	1N	0.2919	0.0295
2O	0.0462	0.0403	2H	0.0866	0.0861
3O	0.0874	0.0518	3C	0.0685	0.0824
4C	0.0268	0.0372	4C	0.0687	0.1125
5C	0.0203	0.0519	5H	0.0573	0.0929
6C	0.0185	0.0301	6H	0.0573	0.0928
7C	0.0271	0.0225	7O	0.1528	0.0854
8S	0.3978	0.0706	8O	0.0790	0.0895
9C	0.0460	0.0137	9H	0.0513	0.2426
10H	0.0264	0.1874		0.0866	0.0861
	0.0156	0.1076	10H		
11H	0.0189	0.0429			
	0.0240	0.1149			
12H	0.0129	0.0258			
	0.0205	0.0613			
13H	0.0257	0.0545			
	0.0273	0.0195			
14H	0.0348	0.0180			
	0.0425	0.0083			
15H	0.0410	0.0102			
16H					
17H					
18H					
19H					
20H					

Pelo resultado dos índices de Fukui, apresentados na tabela 2, corroboram com os resultados observados com os orbitais de fronteira. Para a Glicina é percebido pelo índice de Fukui que o ataque nucleofílico ocorre pelo H do grupo carboxílico e o eletrofilico pelo N da cadeia lateral, onde observa-se a localização dos orbitais LUMO e do HOMO. Para Metionina é valido a mesma avaliação, sendo percebido pelo índice de Fukui que o ataque nucleofílico ocorre pelo H do grupo carboxílico e o eletrofilico pelo S da cadeia lateral, onde observa-se a localização dos orbitais LUMO e do HOMO. Assim, a eficiência de inibição encontrada neste trabalho segue a seguinte ordem: **Met>Gly**, corroborando com os e experimentais[17].

IV CONCLUSÃO

O uso da modelagem computacional constitui uma ferramenta útil para o estudo de inibidores de corrosão, uma vez que possibilita caracterizar quanticamente moléculas associando propriedades anticorrosivas,

permitindo o estudo prévio no desenvolvimento de inibidores orgânicos de corrosão.

O presente estudo revela que parâmetros químicos quânticos podem ser usados para prever a inibição de corrosão e que aminoácidos apresentam boas características para atuarem como inibidor, sendo a tendência encontrada para a variação das eficiências de inibição dos aminoácidos em fase solvente ácido clorídrico (HCl) é de **Metionina > Glicina**.

V REFERÊNCIAS

- [1] MAINIER, F.B. Curso de corrosão e inibidores. Porto Alegre: Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, ABRACO, 2005.
- [2] RAHMAN, H.A.A.E. Evaluation of AHT as corrosion-inhibitor for alpha-brass in acid chloride solutions. Corrosion, v.47, n.6, p.424-428, 1991.
- [3] SHREIR, L. L., JARMAN, R. A., BURSTEIN, G. T. Corrosion: Metal/Environment Reactions. London: Butterworth-Heinemann, 2000.
- [4] COUTINHO, C.B. Materiais Metálicos para Engenharia. Belo Horizonte, M.G. Fundação Cristiano Ottoni, 1992.
- [5] GENTIL, V. Corrosão 5a ed. RJ. LTC-Livros Técnicos e Científicos S. A, 2007.
- [6] KUZNETSOV, Y. I. Organic Inhibitors of Corrosion of Metals. 1ª ed. New York. Plenum Press, 1996.
- [7] PRABHU, R.A. et al. Inhibition effects of some Schiff's bases on the corrosion of mild steel in hydrochloric acid solution. Corr. Sci., 50, 3356, 2008.
- [8] ASHASSI, H. S., NABAVI-AMRI, S. A. Polarization and impedance methods in corrosion inhibition study of carbon steel by amines in petroleum-water mixtures. Electrochim. Acta, 47, 2239, 2002.
- [9] ZUCCHI, F. et al. Tetrazole derivatives as corrosion inhibitors for copper in chloride solutions. Corros. Sci, 38, 11, 2019, 1996.
- [10] BRESTON, J. N. Corrosion Control with Organic Inhibitors. Ind. Eng. Chem. 44 (8), 1755, 1952.
- [11] YURKO, D. et al. Corrosion inhibitors: design, performance, and computer simulations J. Phys. Chem. B, 109, 22674, 2005.
- [12] MONTIEL, E. J. et al. Fe n Clusters (n = 2–7) Interaction with Furan Ring: DFT Studies over Iron Surface Suitability for Furan Adsorption. J Clust Sci. 22, 459, 2011.
- [13] FATMA K., SEDA, S. Theoretical study of corrosion inhibition of amides and thiosemicarbazones. Corr. Sci., 49, 2118, 2007.
- [14] KHALED, K. F. Molecular simulation, quantum chemical calculations and electrochemical studies for inhibition of mild steel by triazoles. Electrochimica Acta, 53, 3484, 2008.
- [15] BOUAYED, M. et al. Corr. Sci., 41, 501, 1999.
- [16] SALGUI, R., BAZZI, L., ADDI, E.A., HAMMOUTI, B, 2003; ZHAO, T., MU, G., Corros. Sci., vol. 41, p.1937, 2003;
- [17] Nnabuk O. Eddy, J. Adv. Res. 2011, 2, 35.
- [18] FORESMAN, J. B. Frisch, Æ. Exploring Chemistry Electronic Structure Methods. 2 ed. USA: Gaussian, Inc. 1996.
- [19] SENET P, Chem.Phys.Lett.,1997;275:527-532.
- [20] KOOPMANS T, Physica.,1933;1: 104-113.

[21] PARSONS, W. A. *Electrochimica Acta*, v. 47, n. 3, p. 509-518, 2001.

[22] PEARSON, R. G. Absolute electronegativity and hardness: application to inorganic chemistry. *Inorganic Chemistry*, v. 27, n. 4, p. 734-740, 1988.

[23] SASTRI V S and Perumareddi J R, *CorrosSci*, 1997; 53: 617-622.

[24] DEWAR M J S AND THIE W, *J AM CHEM SOC.*, 99: 4899-4907, 1977.

[25] Gomez B, Likhanova N V, Dominguez-Aguilar M A, Martinez-Palou R Vela A and Gasquez J, *J PhyChem.*, 2006;

Numerical analysis of a hyperelastic PDMS under simple shear

Fernando da Silva Araújo / Alexandre Luiz Pereira / Rafael Oliveira Santos

Department of Mechanical Engineering
CEFET RJ, *Campus* Angra dos Reis
Angra dos Reis, Brazil
fernando.araujo@cefet-rj.br
alexandre.pereira@cefet-rj.br
rafael.oliveira@cefet-rj.br

Abstract—The present work investigates the mechanical behavior of a hyperelastic material, in this case, the PDMS (Polydimethylsiloxane), subjected to simple shear using the Finite Element Method (FEM). The numerical simulation was performed in ABAQUS software considering the material parameters that were previously determined by adjusting the models, based on the strain energy density function and experimental data. Different constitutive models were considered for hyperelastic materials, such as Mooney-Rivlin, Yeoh and Ogden. It was verified that the Ogden model is the most adequate to represent the mechanical behavior of the material.

Keywords— PDMS, Hyperelastic, Simple Shear, FEM, Abaqus.

I. INTRODUCTION

Industrial silicon polydimethylsiloxane, also known by the acronym PDMS, has been gaining the interest of many researchers, due to some very interesting characteristics, such as flexibility, chemical stability, resistance to corrosion and biocompatibility. This material was synthesized in the 1950's with its first use as a coating for electronic components, protecting them from environmental influences and mechanical shocks over a wide temperature range. In this way, increasing their useful lives [1]. Currently, its use is diversified, with applications in the area of fluids (in valves, pumps and flow systems), optical systems (adaptive lenses and special mirrors), sensors (acceleration sensors, chemical sensors and others), as well as in area of electronics and biomedical. It is noteworthy that the increased use of such material in micro and nanotechnologies [2,3]. According to Horgan and Murphy [4], "A simple shear deformation reflects essentially a conceptual experiment that would be extremely difficult to replicate in a laboratory". The practical drawback to test in simple shear is the necessity to mold and bond the rubber test piece (adhesive) to rigid members (adherents) and provide attachments (load apparatus) for applying the shearing force with a good parallelism, in order to guarantee that the adherents do not deform and the adhesive only deforms in shear [5-7]. Another highlighted point is the method employed for measuring the displacements of the sample. Due to flexibility and elasticity of the material, a non-contact method is primordial for that purpose. Thus, the digital image correlation (DIC) method is a powerful optical-numerical

method developed to estimate full-field surface displacements [8]. Still, the mechanical properties of polydimethylsiloxane are vital for the design of its use, so it is necessary to identify the way the material behaves mechanically. Unlike the metals, the PDMS presents a non-linear behavior in its stress-strain curve, even in the elastic phase of the material. Thus, computational simulation assists in the development of component studies submitted to different types of efforts and fabricated with new materials. Besides, modeling and computational simulation accelerate development, providing valuable information in advance, bringing the product launch earlier and greater return on investment, reducing dependence on trial and error testing, and bringing to market extremely secure and reliable products [3,10]. The objective of this work is to investigate the mechanical behavior of a hyperelastic polymer submitted to the simple shear test through numerical simulation. The parameters of the material available in [11], which were determined based on the experimental data obtained from the simple shear test, were considered here. The results for the shear tension and displacement fields determined through the FEM will be compared with those obtained experimentally for validation.

II. HYPERELASTIC CONSTITUTIVE MODELS

A. Strain-energy density function

From the phenomenological point of view, the material is considered as continuous and an energy density function W is postulated, which is dependent of the deformation gradient tensor \mathbf{F} . There are many forms of the energy density function in the literature to describe the mechanical behavior of a hyperelastic material [12]. The present work focuses on the models: Mooney-Rivlin (1st Order), Yeoh (3rd Order) and Ogden (3rd Order) for hyperelastic and incompressible materials ($D_n = 0$) that are implemented in several commercial finite element programs. These models were chosen because they are quite representative in the use of constitutive equations for hyperelastic materials. The Mooney-Rivlin model is the most used in industrial rubber due to its simplicity and good representation for moderate deformations [15]. First-order Mooney-Rivlin model is the first term of a polynomial series, based on the invariants I_1 e I_2 , given as,

$$W(I_1, I_2) = C_{10}(I_1 - 3) + C_{01}(I_2 - 3) \quad (1)$$

Where I_1 and I_2 are independent strain invariant of the left Cauchy-Green tensor \mathbf{B} and parameters C_{10} and C_{01} are constants of the material. Neo-Hookean model is a Mooney-Rivlin variant with $C_{01} = 0$,

$$W = C_{10}(I_1 - 3) \quad (2)$$

Third-order Yeoh model, based on the Mooney-Rivlin model, follows the first three terms of the summation,

$$W = C_1(I_1 - 3) + C_2(I_1 - 3)^2 + C_3(I_1 - 3)^3 \quad (3)$$

On the other hand, Ogden model associates the strain-energy with the principal stretches. In which μ_n and α_n are constants and may have any value

$$W(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) = \sum_{n=1}^N \frac{\mu_n}{\alpha_n} (\lambda_1^{\alpha_n} + \lambda_2^{\alpha_n} + \lambda_3^{\alpha_n} - 3) \quad (4)$$

B. Simple shear

A schematic of the load applied to the test body is shown in Fig. 1. Considering the central element of the rectangular material that lies between the two plates, being k the amount of shear, its displacement is given as [8]

$$\begin{aligned} x_1 &= X_1 + kX_2 \\ x_2 &= X_2 \\ x_3 &= X_3 \end{aligned} \quad (5)$$

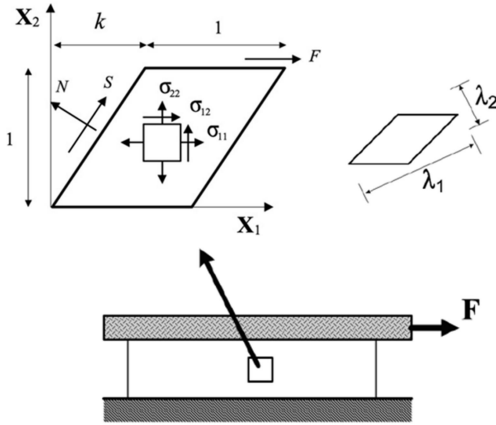


Fig. 1. simple shear deformation.

Assuming the condition of plane deformation, its main stretches can be expressed as a function of the amount of shear

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= \frac{k + \sqrt{k^2 + 4}}{2} \\ \lambda_2 &= \frac{1}{\lambda_1} \\ \lambda_3 &= 1 \end{aligned} \quad (6)$$

Using (5), the shear strain gradient \mathbf{F} for simple shear can be expressed as,

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} 1 & k & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

The left Cauchy-Green tensor, which is also known as Green's deformation tensor, is an important strain measure in material coordinates. The deformation tensor \mathbf{B} , can be written as functions of the deformation gradient tensor

$$\mathbf{B} = \mathbf{F}\mathbf{F}^T = \begin{bmatrix} k^2 + 1 & k & 0 \\ k & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

and its main invariants of \mathbf{B} as indicated in [12]

$$\begin{aligned} I_1 &= \text{tr}\mathbf{B} = k^2 + 3 \\ I_2 &= \frac{1}{2}[(\text{tr}\mathbf{B})^2 - \text{tr}\mathbf{B}^2] = k^2 + 3 \\ I_3 &= 1 \end{aligned} \quad (9)$$

The shear stress component is given by [7]

$$\sigma_{12} = 2 \left(\frac{\partial W}{\partial I_1} + \frac{\partial W}{\partial I_2} \right) k \quad (10)$$

The normal stress components σ_{11} and σ_{22} are considered because it was reported in literature that simple shear deformation produces not only shear stresses. There are two approaches that are commonly used to solve the problem of simple shear. The first approach is based on a plane stress condition (in the case, $\sigma_{33} = 0$) and the second is to consider the normal component of the traction on the inclined face equal to zero, i.e., $N = 0$ [9].

Assuming the hypothesis of plane stress condition, the Cauchy stress tensor components are given by:

$$\begin{aligned} \sigma_{11} &= k\sigma_{12} \\ \sigma_{22} &= \sigma_{33} = 0 \\ \sigma_{12} &= \frac{F}{A} \end{aligned} \quad (11)$$

In contrast with the previous approach, if one considers that the normal component of the traction on inclined surfaces is equal to zero ($N=0$), the equations for the Cauchy stresses are:

$$\begin{aligned} \sigma_{11} &= \frac{k(2 + k^2)\sigma_{12}}{1 + k^2} \\ \sigma_{22} &= \sigma_{33} = \frac{k}{1 + k^2}\sigma_{12} \end{aligned} \quad (12)$$

III. SIMULATION

In order to provide shear state, a 3D simulation was carried out on a rectangular sheet with dimensions of 42 x 25.4 x 1.6 mm³ under simple shear. A single lap joint was made with adherends of steel A36 and adhesive of Polydimethylsiloxane, being a suitable configuration to provide a simple shear

deformation. It is important to remark that the adherends stiffness is much greater than the adhesive, in order to guarantee that the adherends do not deform and the adhesive only deform in shear. Figure 2 shows the arrangement of single lap joint. The associated dimensions are as follows: the length of restraint against transversal motion of 25 mm; segment of length, $D = 50$ mm; joint length, L , equal to 51 mm; joint width, $w = 25.4$ mm; adherend and adhesive thicknesses, $t = 1.6$ mm and $t_a = 1.6$ mm, respectively. Simulation tests were performed under superimposed displacement, quasi-static loading condition (without time effect), considering a velocity of 10 mm/min.

In the FEM model, the upper and lower surfaces of the specimen contact are considered as clamped to represent the clamping arrangements of the test machine. The lower rigid surface is fixed, and the upper is allowed to move only along the X_1 -axis. Boundary conditions (BCs) of specimen are shown in Fig.3. U_1 , U_2 and U_3 are the displacements in the X_1 , X_2 and X_3 directions respectively. The 3D FEA was performed to simulate the test region of the specimen under simple shear loading using Abaqus/Explicit FEA Version 6.9 [13]. The specimen has one linear brick, hybrid element with constant pressure and reduced integration (C3D8RH) according to ABAQUS/ EXPLICIT terminology, which are suitable for modeling incompressible materials [14].

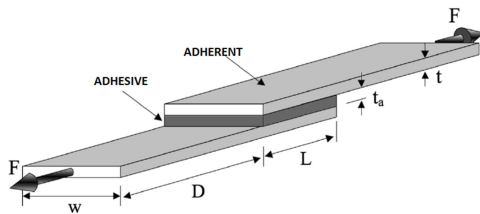


Fig. 2. Simple shear schematic [11].

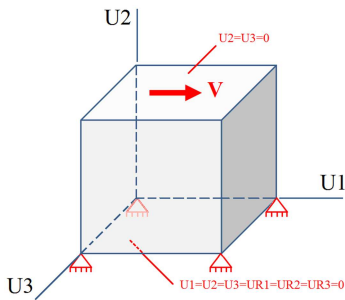


Fig. 3. Boundary conditions and element considered.

Two hyperelastic energy functions chosen are available in ABAQUS and have previously been used to fit single-mode experimental results of this material. The final values of hyperelastic strain energy parameters for Mooney-Rivlin (first order), Yeoh (third order) and Ogden (third order) models and R-square for all the fitted are summarized in Table 1 as indicated in [11].

TABLE I. HYPERELASTIC STRAIN ENERGY PARAMETERS FITTED ON EXPERIMENTAL DATA

Model	Parameters [MPa]	R ²
Mooney-Rivlin 1 st order	$C_{01} = -0.1019$; $C_{10} = 0.213$	0.9490
Yeoh 3 rd order	$C_1 = 0.148$ $C_2 = -0.0435$ $C_3 = 0.0139$	0.9922
Ogden 3 rd order	$\alpha_1 = 0.1547$; $\mu_1 = 0.8154$ $\alpha_2 = 0.1541$; $\mu_2 = 1.397$ $\alpha_3 = 0.1544$; $\mu_3 = 1.01$	0.9797

IV. NUMERICAL RESULTS

In order to validate the material model, FEA was conducted to simulate the simple shear test. Loading was applied as a fixed velocity until a strain of 100% and the results were achieved in the central gauge region of the specimen (Fig. 1). Figures 3 and 4 show the results of full-field displacements, associated with horizontal X_1 and vertical X_2 directions, achieved when a load equal to 290 N is applied using Digital Image Correlation (DIC) technique during experimental test [11] and FEA simulation with Yeoh model, respectively.

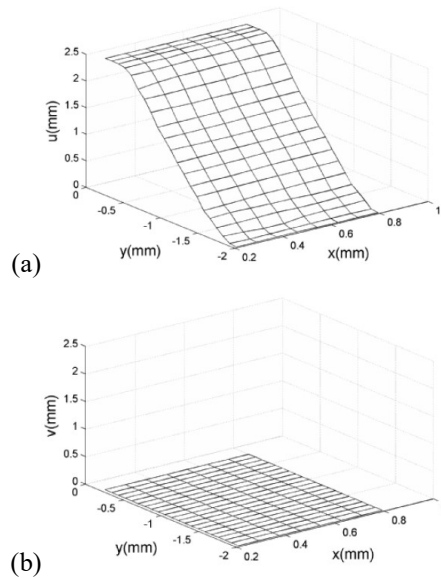
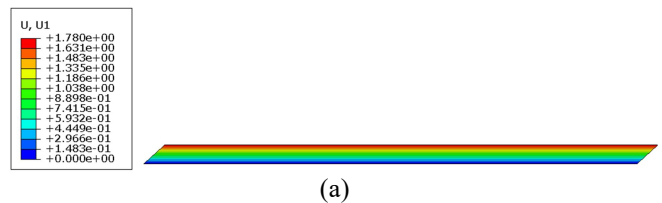


Fig. 4. Full-field displacements obtained on surface area at central region of adhesive by DIC method. (a) X_1 - displacement and (b) X_2 - displacement [11].



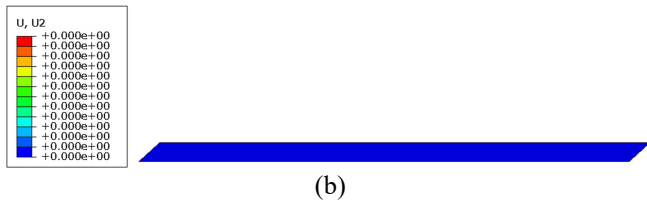


Fig. 5. Full-field displacements [mm] obtained from Yeoh model by FEA (a) X₁- displacement, (b) X₂- displacement.

As demonstrated in experimental and simulation data, the displacement field X₂ has no significant variation, whereas X₁ displacement field varies linearly with the vertical direction. Thus, displacement field X₂ and X₃ can be neglected when compared with displacement field X₁, which is the direction of applied load, as predicted in (5).

Fig. 6 shows a comparison of the shear stress (σ_{12}) x shear strain (amount of shear - k) curve generated from FEA models with the stress-strain curve from the experimental data. It shows that a high level of agreement has been achieved with Ogden model. On the other hand, Mooney-Rivlin model presents considerable discrepancy with experimental, being evident that this model is not able to describe the material mechanical behavior. Thus, the FEA was performed to show that the determined constitutive parameter from Ogden model can predict reasonably well the mechanical response of PDMS if used in commercial FEA packages.

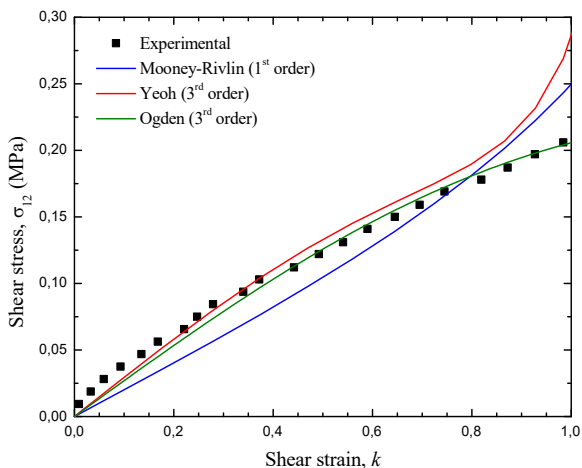


Fig. 6. Comparison between numerical and experimental data for nominal stress-stretch curve.

A comparison between experimental data and numerical simulation for material models is represented in Fig. 7 for normal stress component σ_{22} considering the relation given by (12.b)

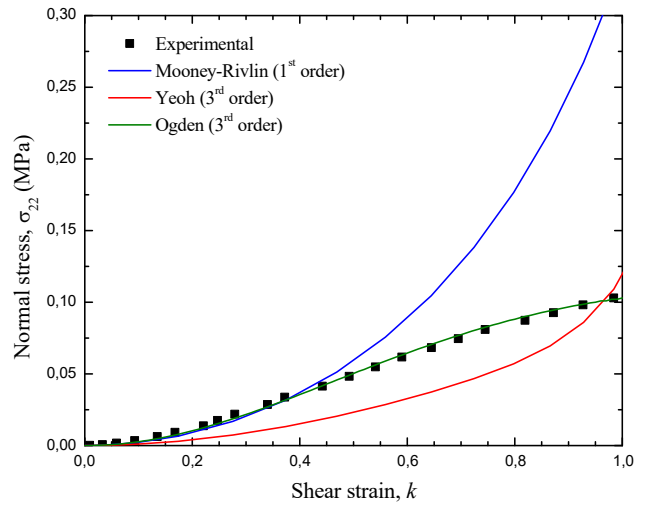


Fig. 7. Comparison between numerical and experimental data for normal stress component σ_{22} .

It is known that most materials have a tendency to expand or contract in the perpendicular direction to the applied shear stress, yielding a positive or negative normal stress [15,16]. It can be seen from (11) and (12) that $\sigma_{33} = \sigma_{22}$ for both hypotheses. Fig.7 shows the true stress component S_{22} field obtained by FEA using Yeoh model with applied load of 290 N. For this loading, the maximum stress reaches -0.086 MPa for a correspondent amount of shear of 0.93. It can be observed that the true stress is uniform in all effective area of specimen. Besides, it is possible to observe that the PDMS tends to contract (pull the plates together) due to the negative normal stress σ_{22} values and it can be as large as the shear stress.



Fig. 8. Normal stress [MPa] in X₂ direction for a applied load of 290 N.

These results show that a hyperelastic material model appropriately fitted on experimental data bring confidence to these material coefficients. Thus, these material parameters can be applied to the analysis of real designs to provide a means of assessing performance.

V. CONCLUSIONS

The objective of this work was to evaluate the mechanical behavior of the PDMS subjected to the simple shear test using ABAQUS finite element software. As can be seen in the results, among the material models studied, the one which is best close to the experimental data according to numerical computational simulation was the 3rd order Ogden. This study shows the importance of verifying which the best most suitable hyperelastic constitutive model based on strain-energy

function, available in FEM software packages, in order to represent the mechanical behavior of material accurately.

Acknowledgment

The authors thanks the Federal Center for Technological Education Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ) for the opportunity to realize this work.

References

- [1] Tiercelin, N., Coquet, P., Sauleau, R., Senez, V. and Fujita, H., Polydimethylsiloxanemembranes for millimeter-wave planar ultra flexible antennas. *J. Micromech. Microeng.* 16(2006) 2389–2395.
- [2] Sackmann E. K., Fulton A. L., Beebe D. J. The present and future role of microfluidics in biomedical research. *Nature*, vol. 507, no. 7491, pp. 181–9, 2014.
- [3] Schneider, F., Draheim, J., Kamberger, R., Wallrabe, U. Process and material properties of polydimethylsiloxane (PDMS) for optical MEMS. *Sensors and Actuators A: Physical*. 2009. 95-99.
- [4] Horgan, C.O., Murphy, J.G. Simple shearing of incompressible and slightly compressible isotropic nonlinearly elastic materials. *J. Elast.* 98 (2010) 205–221.
- [5] Brown, R. *Physical Testing of Rubber*. Springer, New York. 2006.
- [6] Destrade, M., Gilchrist, M.D., Murphy, J.G., Rashid, B., Saccomandi, G. Extreme softness of brain matter in simple shear. *International Journal of Non-Linear Mechanics*. Volume 75, October 2015, Pages 54-58.
- [7] Nunes, L.C.S. Mechanical characterization of hyperelastic polydimethylsiloxane by simple shear test. *Materials Science and Engineering:A*. Volume 528, Issue 3, 25 January 2011, Pages 1799-1804.
- [8] Moreira, D.C., Nunes, L.C.S. Comparison of simple and pure shear for an incompressible isotropic hyperelastic material under large deformation. *Polymer Testing* 32 (2013) 240–248.
- [9] Nunes, L.C.S., Moreira D.C. Simple shear under large deformation: Experimental and Theoretical Analyses. *European Journal of Mechanics A/Solids*. 2013. 315-322.
- [10] Marckmann, G., Verron, E. Comparison of Hyperelastic Models for Rubberlike Materials. *Rubber Chemistry and Technology: November 2006, Vol. 79, No. 5*, pp. 835-858.
- [11] Pereira, A. L. Cisalhamento simples em material hipelástico submetido a grandes deformações. *Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal Fluminense*. 2013.
- [12] Holzapfel, Gerhard.A, “Nonlinear Solid Mechanics – A Continuum Approach for Engineering”. John Wiley & Sons, Ltd, Ed. 2000.
- [13] ABAQUS/Standard Version 6.10-1. *Abaqus/CAE user’s manual*. Providence, RI, USA: Dassault Systemes simulia Corp.; 2010.
- [14] Johannes Liljenherte, Priyank Upadhyaya e S. Kumar. Hyperelastic strain measurements and constitutive parameters identification of 3D printed soft polymers by image processing. *Additive Manufacturing* 11 (2016) 40–48.
- [15] Mihai, L. A. and Goriely, A. Numerical simulation of shear and the Poynting effects by the finite element method: an application of the generalized empirical inequalities in nonlinear elasticity, *Int. J. Nonlin. Mech.*, 2013, 49, 1–14.
- [16] Janmey, P. A. et all. Negative normal stress in semiflexible biopolymer gels. *Letters: Nature materials*. VOL 6. JANUARY 2007.

Avaliação de uma cooperativa de catadores com foco na gestão dos resíduos como potencial de contribuição à sustentabilidade

Ubirajara Aluizio de Oliveira Mattos
Faculdade de Engenharia/Desma
Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro, Brasil
ubirajaraaluizio@yahoo.com.br

Dulcília de Sousa Rocha
Faculdade de Engenharia/Desma
Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro, Brasil
dulcisousa15@yahoo.com.br

Resumo — A geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) está intimamente relacionada a fatores históricos, como a Revolução Industrial e ao processo de urbanização das cidades. O crescimento do montante de resíduos nos últimos anos é latente. A principal dificuldade reside no manejo e gerenciamento desses resíduos de maneira ambientalmente correta. As cooperativas de catadores de material reciclável são uma solução viável do ponto de vista econômico e ambiental, definidas como um dos instrumentos da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Um grande volume de materiais potencialmente degradantes do meio ambiente é direcionado para as cooperativas que fazem o processo de triagem, reuso, reciclagem e reinserção em cadeias produtivas.

Palavras-chave—materiais recicláveis; resíduos sólidos; catadores; cooperativas; meio ambiente

I. INTRODUÇÃO

O aumento da geração de resíduos sólidos urbanos (RSU), embora largamente discutido, ainda é um dos grandes problemas da sociedade atual. É possível atribuir esse incremento a alguns fatores, dentre eles o processo de expansão e urbanização das cidades e a Revolução Industrial. Considerando-se suas especificidades, praticamente todos os estados e municípios vivenciaram essa realidade.

As indústrias trouxeram a produção em massa de bens, avançaram em tecnologia e inovações, influenciando o consumismo exacerbado. Esse cenário, atrelado à dinâmica populacional nas grandes cidades, funcionou como catalisador na geração de resíduos.

A partir da lógica capitalista, cria-se um paradoxo de que é preciso consumir cada vez mais para viver e manter-se na vida moderna, ao mesmo tempo, que se torna necessário evitar que o produto final desse consumo – o lixo – nos ameace [1].

Segundo as estimativas do [2], o lixo mundial deve ter um aumento de 1,3 bilhão de toneladas para 2,2 bilhões de toneladas até o ano de 2025. O [3] no Brasil mostra que em 2013 a geração total de RSU foi de 76.387.200 toneladas, o que representou um aumento de 4,1% em relação ao ano de 2012. Já em 2014 o aumento foi de 2,9%, chegando a 78.583.405 e esse montante praticamente triplicou em 2016 [4].

Para [5], ao considerar que os resíduos gerados nos processos produtivos, eram entendidos como meros subprodutos, as ações tomadas eram tão somente removê-los para áreas distantes dos grandes centros. Sem a preocupação do correto manejo e destinação de tais resíduos.

Com a aprovação da Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, sob a Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010, firmou-se o novo marco regulatório da gestão de resíduos sólidos no Brasil [6]. A expectativa era de avanço no tratamento dos problemas resultantes da geração contínua e volumosa dos resíduos sólidos em nível nacional.

A implantação desta Lei, bem como de outras anteriores, como a Lei dos Consórcios Públicos – Lei nº 11.107 de 2005 e [7] a Lei de Saneamento – Lei Federal nº 11.455 de 2007 [8] que contemplam a questão do gerenciamento dos resíduos sólidos, não significavam, na prática, a resolução do problema: “O gerenciamento dos resíduos sólidos”, uma vez que são complexos os mecanismos viáveis.

De acordo com o Compromisso Empresarial para a Reciclagem, no ano de 2011 os recicláveis coletados pelos catadores colocam o Brasil como um dos maiores países recicladores no mundo. Aproximadamente 98,3% das latas de alumínio foram recicladas no Brasil. O país ocupou lugar de destaque no cenário mundial com a reciclagem de plásticos, reciclando 21,7% e 73,3% de papel ondulado (papêlo) – consumido principalmente pelas indústrias de embalagens [9].

Inserida nesse contexto, a organização de catadores de material reciclável (em cooperativa ou associação) é uma alternativa de fundamental importância no gerenciamento dos resíduos sólidos e na implantação da PNRS. As organizações de catadores buscam suprir uma demanda do mercado no processo de geração de emprego e renda para àqueles que são trabalhadores informais. Contribuem de forma imprescindível para a preservação do meio ambiente, reduzindo a quantidade de materiais poluidores, reinserindo-os nas diversas cadeias produtivas.

Desta forma, visando contribuir para uma mudança de paradigmas e despertar o senso de co-responsabilidade, este estudo teve como objetivo analisar o processo de reciclagem de uma Cooperativa de catadores de materiais recicláveis

com foco no potencial de contribuição para a sustentabilidade e o papel da organizações na gestão dos seus resíduos.

população atendida gira em torno de 31 milhões de brasileiros.

II. MATERIAL E MÉTODOS

A. Pesquisa bibliográfica

Realizou-se um levantamento bibliográfico utilizando como palavras-chaves: materiais recicláveis, coleta seletiva, cooperativas de catadores, resíduos sólidos, nas bases de dados disponíveis além de livros, teses, artigos em meio físico, afim de situar a organização e legislação pertinente.

A pesquisa sobre literatura a respeito do tema gestão dos resíduos sólidos urbanos se desenvolveu a partir de três principais pontos: o primeiro refere-se às questões sobre a geração de resíduos e sociedade; o segundo envolve as organizações de catadores em cooperativa e associações e o terceiro está relacionado à sustentabilidade e coleta seletiva.

Na Fig. 1 abaixo estão relacionadas em seus âmbitos, algumas das legislações referentes às cooperativas e aos catadores de materiais recicláveis.

Leis Federais	Leis Estaduais	Leis Municipais
C.F. de 1988: Art.23, inciso VI e Art.225	Lei 3755/02: Financiamento e formação de cooperativas [...]	Lei 3.273/01: Gestão do sistema de limpeza urbana no estado RJ
Conama 275/01: estabelece no Art.1º o código de cores [...]	Conema 56/13: Isenção da exigibilidade de L. A.	Lei 30.624/09: Separação dos RSU pela adm. pública municipal na fonte geradora
Lei 9.795/99: dispõe sobre a Educação Ambiental e institui a FNEA;	Lei 4.191/03: PERS no RJ;	Decreto 533/07: Critérios p/ apoio a catadores/ cooperativas de M.R. do PCSS/ Mesquita.
Decreto Fed. nº 5.940/06: Estabelece a C.S.S.	Decreto 40.645: Separação dos RSU pela adm. Pública estadual, na fonte geradora	
Lei Federal 11.455/2007: estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico;		
Lei 12.690/12: traz a definição de cooperativa de trabalho em seu Art. 2º [...]		
Decreto 7.405/10: institui o Programa Pró-Catador [...];		
Lei 12.305/10: PNRS - Art.8º, [...] instrumentos [...]		

Figura 1. Legislação, cooperativas e catadores

B. Coleta seletiva e catadores de materiais recicláveis

A coleta seletiva foi incorporada na Política Nacional de Saneamento Básico (Lei Federal 11.445) em 2007 e três anos após, como instrumento legal dentro da Política Nacional de Resíduos Sólidos, sob a Lei Federal 12.305.

A atividade profissional dos catadores foi reconhecida e inserida na Classificação Brasileira de Ocupações (CBO) em 2002, para uso em todo o território nacional, com o código 5192-5[10].

De acordo com mapeamento realizado pela [11], cerca 1055 municípios brasileiros operam programas de coleta seletiva, como mostra a Fig. 2. Destes, 81% dos programas estão concentrados nas regiões sudeste e sul. A Fig. 3 a seguir representa a regionalização dos municípios, cuja

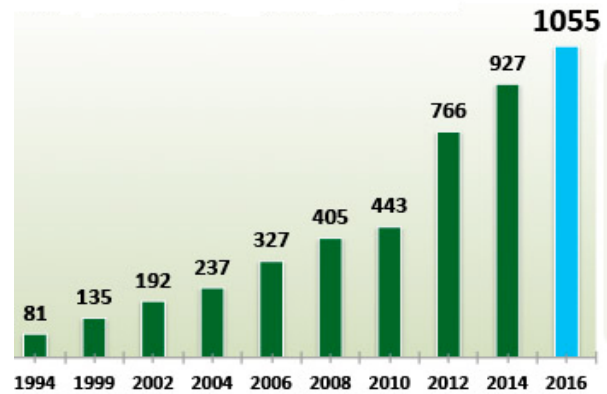


Figura 2. Municípios com Programas de coleta seletiva

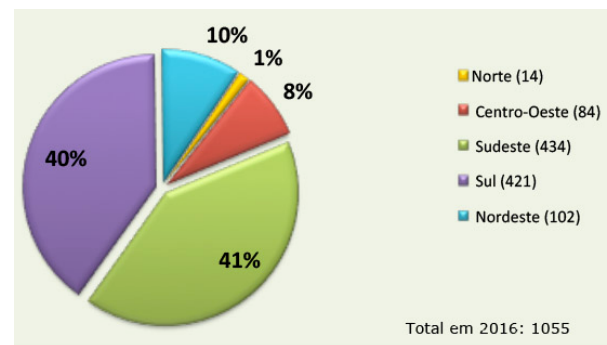


Figura 3. Coleta seletiva por região

A maior parte dos municípios realiza a coleta via PEVs e Cooperativas, ainda segundo [11], identificado na Fig.4.

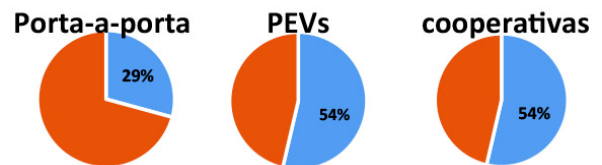


Figura 4. Tipos de coleta seletiva

C. Observações de campo e caracterização da cooperativa

Foram realizadas visitas no período (Outubro/2013 a Agosto/2014) para observações do processo de trabalho, registros, consultas a documentos e entrevista aberta, não estruturada com os catadores para complementar as informações, quando necessário.

A Cooperativa Mista de Coleta Seletiva e Reaproveitamento de Mesquita (Coopcarmo) localiza-se no bairro de Jacutinga, município de Mesquita, no estado do Rio de Janeiro. Foi criada em 11 de março de 1993.

A área construída pode ser dividida em área de trabalho com material reciclável, que corresponde ao galpão com 700,50 m², a sala da administração, uma cozinha integrada ao refeitório, dois banheiros, que também servem de vestiário, um espaço para convívio com bebedouro e cadeiras e um bazar. O espaço físico do galpão é ocupado para a realização dos processos de triagem, enfardamento,

pesagem e estocagem. A Fig. 5 permite visualizar a localização do galpão.



Figura 5. Vista aérea da cooperativa/ jacutinga

São 10 cooperativadas, cuja jornada de trabalho é de 8 horas diárias, iniciando às 7 horas e com término às 16 horas, com uma hora de intervalo para o almoço, cinco dias por semana. Os principais equipamentos de proteção individual (EPI) utilizados pelas catadoras são bota e luvas, além do uniforme (calça e camisa). Durante o período da pesquisa não foi evidenciado nenhum acidente de trabalho. A divisão do trabalho ocorre conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Divisão do trabalho/ nº de catadoras

Coleta	Rampa	Prensa	Balança	Cozinha	Administração
4	3 a 4	2	2	1	1 a 2

Em uma cooperativa a organização do trabalho pode determinar a quantidade e qualidade dos materiais separados. O número de trabalhadores, a forma de armazenamento, os transportes internos, a velocidade de separação, a forma de alimentação dos postos de trabalho e a disposição dos *bags* (*sacos de rafia*) e sacos (plásticos) podem ser fatores que influenciam quantitativamente e qualitativamente o produto final.

A Fig. 6 a seguir apresenta a logística dos recicláveis na cooperativa estudada, através do fluxograma da cadeia de reciclagem.

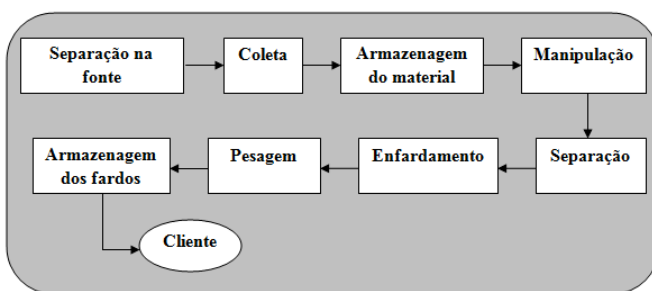


Figura 6. Logística dos recicláveis

Os resíduos ou materiais provenientes da coleta seletiva, segundo o seu potencial de aproveitamento podem ser classificados, a princípio como recicláveis, reutilizáveis e rejeitos. Neste trabalho, consideraremos e chamaremos os resíduos coletados de materiais recicláveis e é possível categorizá-los conforme Fig. 7 a seguir.

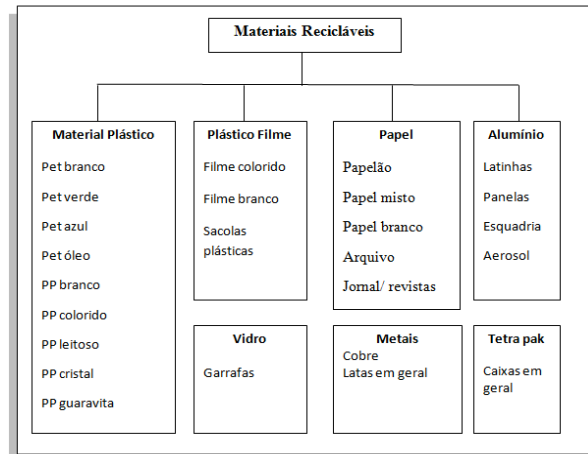


Figura 7. Quadro de materiais recicláveis

ro de materiais recicláveis

D. Experimento

Realizou-se um experimento considerando a atividade de separação dos materiais recicláveis com foco na produtividade. Cronometrou-se por uma hora a quantidade de material separado em dois momentos distintos (manhã e tarde). Em seguida, o material foi pesado, classificado e prensado em fardos. Esses fardos ficam armazenados para destinação ao cliente.

Conforme Fig. 8 e Fig. 9, a atividade consiste em pegar os sacos com o material dentro do caminhão, despejá-lo na rampa e realizar a triagem, depositando cada classe em um saco específico.

As catadoras usualmente entram na parte denominada de gaiola, onde fica o material coletado, e empurram os sacos. Outras vezes, os puxam com o auxílio de um rodo ou vassoura até que todo o conteúdo esteja sobre a rampa, onde ficará armazenado.



Figura 8. Catadoras na rampa



Figura 9. Retirando o material do caminhão

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processo de separação envolve cerca de três a quatro catadores, dependendo da quantidade de material que se encontra sobre a rampa e do número de catadores que não trabalham nos outros postos como a prensa, onde apenas duas catadoras operam. Isto ocorre porque nem todas sabem operar o equipamento.

A. Separação na rampa

A rampa construída em alvenaria apresenta uma área de 131,89 m² e é constituída por um plano inclinado medindo cerca de 3m a partir do piso, na sua parte mais elevada e 1m na parte mais baixa, onde se processa a separação dos materiais recicláveis. Ela possui uma escada lateral, conforme esquema da Fig. 10, à sua esquerda e barras de ferro espaçadas, cuja função é a de fixação de telas.

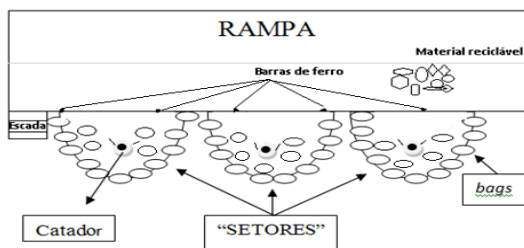


Figura 10 – Esquema simplificado da rampa

Geralmente os *bags* são dispostos em frente à rampa, arrumados um ao lado do outro formando um semicírculo, e também alguns outros, à frente destes. Não existe uma sequência fixa nessa disposição, variando de catador pra catador. Porém, há uma lógica própria, adquirida ao longo do tempo por algumas das catadoras. De acordo com esta lógica, a disposição dos *bags* e dos sacos é determinada em função da quantidade e frequência do material.

Estes *bags* ou sacos são repostos à medida que atingem a capacidade máxima. É comum, ao realizarem a disposição para início da atividade, não colocarem a quantidade suficiente para o acondicionamento dos materiais a serem separados. Isto implica em paradas frequentes para buscar mais *bags* ou sacos. Podem-se verificar na Fig. 11 os tipos de armazenagem

Bag ou sacos	Tipos de armazenagem para o material	
	Bag p/ pet azul	Saco p/ jornal
Bag p/ papelão	Saco p/ vidro	Saco p/ papel colorido
Bag p/ amaciante, shampoo, álcool	Saco p/ sucata	Bag p/ latinha de alumínio
Bag p/ pet incolor	Bag p/ tetra pack	Saco p/ rejeitos
Bag p/ pet verde	Saco p/ papel branco	Bag p/ pet óleo

Figura 11. Tipagem de armazenagem dos materias

B. Materiais separados

Os trabalhadores da coleta e seleção de material reciclável são responsáveis por coletar material reciclável e reaproveitável (papel, papelão, vidro, materiais ferrosos e

não ferrosos e outros), vender, selecionar material coletado, preparar o material para expedição, realizar manutenção do ambiente e equipamentos de trabalho, divulgar o trabalho de reciclagem, administrar o trabalho e trabalhar com segurança. Do experimento realizado foi criada a Tabela 2, onde estão relacionados os materiais separados e a Fig. 12 exemplifica alguns desses materiais.

Tabela 2. Quantidade de material separado

Material/h	Momento 1 (Kg)	Momento 2 (Kg)
Papelão Colorido	10,0	26,5
Jornal	18,5	16,0
Vidro	11,0	13,5
Latinha (Al)	2,5	10,0
Plástico PP	2,5	3,0
Pet óleo	0,5	1,0
Pet branco	13,0	7,0
Pet verde	3,5	2,5
Pet azul	0,5	1,5
Papelão	5,0	5,0
Sucata	6,5	4,0
Filme colorido	2,5	2,5
Tetra pack	6,0	4,0
Papel branco	0,5	3,0
Plástico duro	7,5	6,0
Filme branco	1,0	Não ocorrência
Rejeito	19,5	18,0
Total	110,5	123,5



Figura 12. Materiais separados em sacos e bags

A análise da produção apresentada ficou restrita a etapa de separação do processo de trabalho da cooperativa porque a escolha se justifica por pelo menos três motivos: a) a separação é a atividade principal que motiva a existência da cooperativa; b) é ambientalmente relevante e c) indica o volume e tipo de material.

Os materiais são diversos e estão misturados nos sacos coletados nas ruas e instituições, os entregues na cooperativa, ou se misturam ao serem depositados na rampa. Pode ocorrer de estarem sujos ou com resíduos, o que necessita uma limpeza prévia.

De acordo com a Tabela 2, foi possível observar um expressivo valor para a quantidade triada num período de uma hora para cada momento da atividade. Esse montante pode ser extrapolado para a jornada de trabalho efetiva no processo de separação e será tão maior quanto forem o número de pessoas envolvida.

Pode-se aferir que uma gama de materiais poluentes, como poliuretano, polipropileno, poliestireno, entre outros polímeros e filmes plásticos deixa de ser descartada de forma inadequada no meio ambiente, sendo reutilizadas, aproveitada em reciclagens ou como insumos em processos produtivos. O volume de materiais está diretamente relacionado com a quantidade que conseguem coletar e que recebem dos diversos órgãos.

Para tanto, um grupo com quatro pessoas deixa o galpão por volta de 8 horas com o caminhão guiado por motorista cedido pela própria prefeitura percorre os bairros dos municípios descritos anteriormente de acordo com um roteiro semanal e retorna entre 12 horas – 13 horas. Há um revezamento dos grupos a cada 15 dias (Tabela 3).

Tabela 3. Roteiro de coletas

Roteiro de coleta			
Semana 1		Semana 2	
Dia	Bairros	Dia	Bairros
Segunda feira	Mesquita, Sta Clara e Juscelino; N. Iguaçú, Jd. Tropical, Jd. Nova Era	Segunda feira	Dia vago
Terça feira	Protonil (hospital), Banco de Areia e Stº. Elias, Austim	Terça feira	
Quarta feira	Morro Agudo e Belford Roxo	Quarta feira	Igual a semana 1
Quinta feira	Posse, Centro de Mesquita (Prédios)	Quinta feira	
Sexta feira	K11 e Califórnia	Sexta feira	

As demais semanas repetem o roteiro da primeira semana. Entretanto, pode ocorrer alteração, caso haja alguma chamada específica do Hospital Protonil ou das escolas próximas. Estima-se que por dia o caminhão coleta em torno de 1.200 quilos.

Na Tabela 4 verifica-se a quantidade de papelão, papel e plástico que poderiam ir para os rios e mares, comprometendo o ecossistema local. O papel das cooperativas e dos seus agentes, os catadores, é relevante para a cultura de ações de sustentabilidade e agrega valor ao material.

Tabela 4. Materiais x preço

Material	Outubro (2013)		Novembro (2013)		Janeiro (2014)	
	Peso (Kg)	Preço (R\$)	Peso (Kg)	Preço (R\$)	Peso (Kg)	Preço (R\$)
Papelão 1	4.760	0,30	0	0,30	0	0,30
Papelão 2	2.000	0,32	5.610	0,32	6.663	0,32
Pap. Misto	1.980	0,12	1990	0,12	2.940	0,12
Pap. Branco	5.340	0,50	5.650	0,50	0	0,50
Plástico Br.	0	0,80	501,9	0,80	465	0,80
Plástico Col.	178	0,70	239,50	0,70	202	0,70
PP	864	0,55	730	0,55	678	0,55
Pco. F Br.	691	0,75	365	0,75	532	0,75
Pco. F Cl	1.416	0,55	855	0,55	764	0,55
Sucata	3.099	0,28	2.716	0,28	3.018	0,30
Total	20.328	7.912,99	18.657,4	7.334,15	15.262	5.095,86

IV. CONCLUSÕES

A avaliação foi feita através das informações obtidas nas observações de campo e nos experimentos realizados, considerando os dois momentos estudados. Permitiu abordar os pressupostos básicos sobre questões relacionadas à produção, consumo, geração e gerenciamento de resíduos sólidos.

A implantação da PNRS como propulsora da atividade dos catadores, através das cooperativas e associações, reconhecendo estas como instrumentos importantes para a sociedade e para o meio ambiente foram marcos para mudanças de paradigmas e comportamentos. Visto que As questões ambientais vigoram nas pautas de qualquer agenda, seja no âmbito escolar, nas organizações em sua missão ou visão, nos empreendimentos de diferentes naturezas ou como estratégia competitiva. Sustentabilidade tornou-se uma palavra frequente - pré-requisito para a consolidação de um organismo.

O estudo mostra quão importante é a atuação das cooperativas e associações de catadores para as questões ambientais. Pois, na prática, são esses agentes que realizam a ação de retirar uma grande parcela de resíduos que provavelmente seriam descartados irregularmente no meio ambiente, através dos lixões, ainda existentes, ou em aterros irregulares.

Portanto, frente ao reconhecimento dos benefícios ambientais e sociais advindos da coleta seletiva, da necessidade de reduzir o impacto ambiental causado pelos resíduos, as cooperativas de catadores de material reciclável desempenham um papel que se encaixa no conceito de sustentabilidade. E, sua atuação está ligada à educação ambiental, aos incentivos de reciclagem e às legislações sobre o tema.

REFERÊNCIAS

- [1] EIGENHEER, E. Lixo e Vanitas: considerações de um observador de resíduos. Tese de Doutorado em Educação. UFF/RJ; 1999.
- [2] PNUMA, Programa das Nações Unidas para o Meio ambiente. Urgência em preparar países em desenvolvimento para tempestade de lixo-eletrônico. Comunicado de 02 de março de 2010. Brasília: PNUMA, 2010. Disponível em: <http://pnuma.org.br/comunicados_detalhar.php?id_comunicados=66>. Acesso em: 19 Dez. 2013
- [3] ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2013. São Paulo, 2013. Disponível em <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2013.pdf>. acesso em 13 Nov. 2014.
- [4] ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2016. São Paulo, 2016. Disponível em

<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2013.pdf>.
acesso em: 02 Set. 2018

[5] DEMAJOROVIC, J. A evolução dos modelos de gestão de resíduos sólidos e seus instrumentos. Disponível em http://scholar.google.com.br/scholar?q=A+evolu%C3%A7%C3%A3o+dos+modelos+de+gest%C3%A3o+de+res%C3%ADduos+s%C3%B3lidos+e+seus+instrumenos&btnG=&hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5. Acesso em 10 Ago. 2018

[6] BRASIL. Lei nº 12.305, Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e dá outras providências, 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm. Acesso em: 10 Jan. 2013

[7] BRASIL. Lei nº 11.107. Lei dos Consórcios Públicos, 2005. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/Lei/L11107.htm. Acesso em 12 de janeiro de 2013.

[8] BRASIL. Lei nº 11.445. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico e dá outras providências, 2007. Disponível em:

http://legislacao.planalto.gov.br/legisla/legislacao.nsf/Viww_Identificacao/lei%2011.445-2007?OpenDocument.
Acesso em: 13 jan. 2013

[9] CEMPRE - Compromisso Empresarial para Reciclagem. Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado. 2000. 2. ed. São Paulo: IPT/ CEMPRE. Pesquisa Ciclossoft 2008. Disponível em www.cempre.org.br. Acesso em: 13 Nov. 2015.

[10] MTE - Ministério do Trabalho e Emprego. Classificação Brasileira de Ocupações. 2002. Disponível em: <http://www.mtecbo.gov.br/busca/descricao.asp?codigo=5192-05>>. Acesso em: 02 Abr. 2013.

[11] CEMPRE - Compromisso Empresarial para Reciclagem. Radiografando a coleta seletiva: Pesquisa Ciclossoft, 2016. Disponível em: <http://cempre.org.br/ciclossoft/id/8>. Acesso em: 02 Out. 2018

Avaliação do Limite Operacional de Motores de Indução Trifásicos em Função do Desequilíbrio e/ou Presença de Harmônicos na Tensão de Alimentação Aplicando Lógica Fuzzy

José Lucas Damasceno Holanda
Departamento de Engenharia Elétrica
Universidade Federal de Campina Grande
Campina Grande, Brasil
jose.holanda@ee.ufcg.edu.br

Ronimack Trajano de Souza
Departamento de Engenharia Elétrica
Universidade Federal de Campina Grande
Campina Grande, Brasil
ronimack@dee.ufcg.edu.br

Abstract—Este trabalho apresenta o estudo operacional de motor elétrico de indução trifásico quando submetido a alimentação elétrica sob condições de desequilíbrios de tensão e/ou presença de harmônicos. No estudo, foi adotado o método das componentes simétricas para modelar o motor de indução e avaliar o comportamento do mesmo sob condições adversas de qualidade de energia elétrica. Para avaliar o comportamento do motor, ensaios elétricos a vazio e em carga, com desequilíbrios de tensão e/ou presença de harmônicos foram realizados. Com base nos resultados teóricos e experimentais, foi desenvolvido um sistema de apoio à tomada de decisão, fundamentado na lógica fuzzy. O sistema fuzzy estima o nível de confiabilidade operacional do motor em função do nível de carga, da corrente elétrica e da temperatura dos enrolamentos do motor. Esta modelagem pode auxiliar as equipes de manutenção na prevenção do desgaste prematura e/ou avarias dos motores em operação.

Keywords—Motor de Indução, Desequilíbrio de Tensão, Harmônicos, Lógica Fuzzy.

I. INTRODUÇÃO

O motor de indução trifásico é amplamente utilizado na indústria devido a sua eficiência, robustez, estabilidade, facilidade de manutenção e sua vida útil. Segundo um relatório emitido em parceria com a PROCEL [7], o setor industrial brasileiro consumiu 36,5% da energia elétrica produzida naquele ano. Deste percentual, 68% foi o consumo destinado a motores de indução.

Pelo exposto, o monitoramento do estado operacional dos motores de indução é essencial para obter êxito nos programas de eficiência energética, bem como nos programas e ações de manutenção desses equipamentos. Contudo, na maioria das indústrias, o monitoramento é feito através da supervisão da corrente de carga do motor, seguidos valores de referências dadas pelos fabricantes. Os planos de manutenção de motores, normalmente, estabelecem, em condições normais de alimentação elétrica (tensões equilibradas e senoidais) e operacional do equipamento, um número de horas de operação, antes de promover ações de manutenção.

Contudo a rede de distribuição não é ideal, ou seja, as tensões não são equilibradas, tão pouco puramente senoidais, o que justifica estudar sua influência nos equipamentos a ela ligados, como, neste caso, os motores de indução [21].

Conforme a carga acoplada ao eixo do motor de indução e das condições da rede elétrica de alimentação, o motor

apresenta valores distintos de rendimento, fator de potência, corrente de carga, velocidade do rotor, conjugado (torque), perdas e elevação de temperatura. Assim, quando as tensões de alimentação não são equilibradas e/ou senoidais, ocorrem alterações nas características elétricas, mecânicas e térmicas dos motores de indução, provocando desde o desgaste prematuro à perda de eficiência do equipamento.

O monitoramento do consumo dos motores de indução se tornou mais evidente com a “Lei de Eficiência Energética” [2], sendo o motor de indução o primeiro equipamento a ser regulamentado pela Lei de eficiência energética.

A eficiência energética dos motores de indução está diretamente relacionada à qualidade de energia elétrica do sistema ao qual o motor está conectado. Com isso, as perdas nos motores podem ser maximizadas quando a rede elétrica a qual o motor está conectado apresentar desequilíbrio de tensão e/ou a presença de harmônicos. Além disso, a combinação de desequilíbrio de tensão e de harmônicos na rede de alimentação dos motores podem provocar oscilações mecânicas, redução da vida útil do motor e interferências no sistema de controle.

A conexão e conseqüente operação de motores de indução em rede elétrica com condições inadequadas de qualidade de energia podem provocar o desbalanceamento de corrente, e o conseqüente desgaste distinto para cada enrolamento, reduzindo a vida útil do equipamento, além da atuação dos sistemas de proteção em condições de operação abaixo da carga nominal, provocando descontinuidade do serviço e ocasionando prejuízos no sistema de produção ao qual o motor está associado. Em função da importância dos motores para o desenvolvimento do setor produtivo, as técnicas de monitoramento e diagnóstico nesses equipamentos devem ser constantemente desenvolvidas e/ou aperfeiçoadas. Assim, conhecer o estado operacional dos motores, adotando técnicas e metodologias de diagnóstico do estado operacional, viabiliza avaliar o grau de confiabilidade do equipamento no desempenho das suas funções.

Os estudos realizados por [1], [4], [11], [12], [13], [14], [15], [17], [19], [20], quantificaram e qualificaram os efeitos do desequilíbrio com ou sem presença de harmônicos em motores de indução trifásicos. No entanto, não foi proposto nestes estudos uma técnica de monitoramento para estimar o nível de confiabilidade operacional do motor em função das especificações do fabricante, quando submetido à desequilíbrio de tensão e/ou presença de harmônicos.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A. Parâmetros de Qualidade da Energia Elétrica

O desequilíbrio ou desbalanceamento de tensão é o fenômeno associado às alterações no fornecimento trifásicos do sistema elétrico, em que as três fases de alimentação não são iguais [4].

A quantificação do desequilíbrio de tensão pode ser determinada pelo fator de desequilíbrio (FD), conforme Equação 1:

$$FD = \frac{V_-}{V_+} \cdot 100 \quad (1)$$

Sendo, V_- , o módulo da tensão para sequência negativa e, V_+ , o módulo da tensão para sequência positiva.

A Figura 1 ilustra um sistema equilibrado comparado a um sistema com desequilíbrio de tensão.

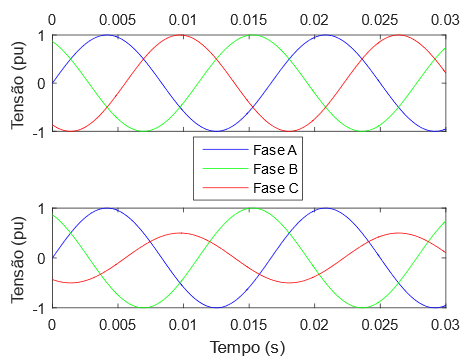


Fig. 1. Sistema trifásico equilibrado e desequilibrado, respectivamente.

Outro fator que contribui negativamente para a qualidade da energia elétrica é a presença de harmônicos nos sinais de tensão ou de corrente. Os harmônicos são distorções na forma de onda do sinal elétrico, em que estão presentes no sinal elétrico outras frequências além da frequência fundamental [6]. A Figura 2 apresenta um sinal elétrico de 60 Hz, com a presença de harmônico de ordem 3 (180 Hz) e amplitude de 20% em relação à componente fundamental. Observa-se que a presença de outras frequências no sinal elétrico provoca a distorção do sinal senoidal.

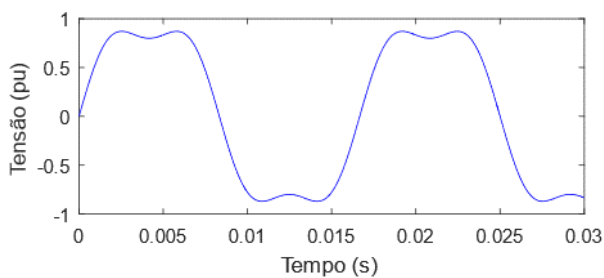


Fig. 2. Sinal senoidal com presença de harmônicos de Ordem 3.

A quantificação da distorção do sinal elétrico pode ser determinada pela Distorção Harmônica Total (DHT), conforme Equação 2:

$$DHT = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \quad (2)$$

Sendo, V_1 , o módulo da componente fundamental de tensão e, V_h , o módulo das componentes harmônicas de tensão.

B. Impactos da Qualidade da Energia Elétrica na Operação dos Motores Elétricos

Os motores quando alimentados por sinais elétricos com desbalanceamento de tensão e/ou harmônicos sofrem alterações na distribuição do campo girante de força magnetomotriz no entreferro da máquina, o que implica na produção de esforços mecânicos axiais e radiais sobre o eixo, com o aparecimento de vibrações, ruídos, batimento, desgaste e o aquecimento excessivo dos mancais [16]. A Figura 3 ilustra dois casos: sistema de alimentação equilibrado e desequilibrado de tensão. Nesta Figura, evidencia-se que, quando o motor está submetido à desequilíbrio de tensão, dois campos magnéticos são induzidos. Um destes gira no sentido de rotação do motor (sequência positiva), e o outro campo gira no sentido oposto (sequência negativa), resultado em um campo magnético elíptico [20].

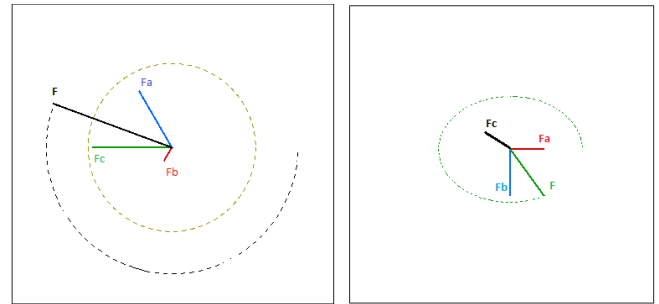


Fig. 3. Sistema trifásico equilibrado e desequilibrado, respectivamente.

Muito embora, o motor de indução apresente elevada eficiência, diversos estudos indicam e comprovam que a eficiência deste equipamento está diretamente relacionada à qualidade de energia elétrica do sistema ao qual o motor está conectado [14], [18], [6], [21]. Além disso, os principais parâmetros que contribuem para o aumento das perdas do motor são o desequilíbrio de tensão e a presença de harmônicos no sistema de alimentação destes motores [14], [15], [18].

Diversos autores, como [17], [14], [15], [11], [20], [1] e [13], têm realizado estudos com motores de indução sob condições de desequilíbrio de tensão e/ou presença de harmônicos na rede. Segundo [12] dependendo dos níveis de desbalanceamento de tensão, o motor de indução pode funcionar além das condições normais de operação com conseqüente diminuição da sua vida útil. Diante deste efeito, à medida que o desequilíbrio de tensão aumenta, há uma redução significativa dos valores de rendimento e de torque nos motores de indução trifásicos. Outro fator, que contribui nesta diminuição, são as distorções causadas por harmônicos. Segundo [14], a combinação de desequilíbrio de tensão com harmônicos no sistema de alimentação do motor pode provocar o aumento das perdas, oscilações mecânicas, redução de vida útil e interferências no sistema de controle destes motores.

TABLE I. CONDIÇÕES COM HARMÔNICOS.

Ordem do Harmônico	Distorção Harmônica Total (%)
2	2
2	4
3	4
3	6
3	8
3	10
3	12
3	14
4	2
5	2
5	4
5	6
7	2
7	4
3 e 5	2,83
3 e 5	10,20
3 e 5	14,14
3 e 5	20,10
3 e 5	22,36

Assim, seguindo a Tabela I, realizaram-se ensaios conforme o modelo determinado no item III.A com o intuito de avaliar o comportamento da corrente e da potência no motor quando submetido à desequilíbrio de tensão com presença de distorções harmônicas.

C. Sistema Determinístico do Limite Operacional do Motor com Lógica Fuzzy

Segundo [5], a Lógica Fuzzy apresenta um modelo capaz de combinar a imprecisão associada ao comportamento do sistema considerado e o poder computacional das máquinas, resultando, assim, em respostas inteligentes.

Logo, para se obter respostas inteligentes sobre o nível de confiabilidade de um motor de indução trifásico quando submetido à desequilíbrio de tensão e/ou presença de harmônicos, consideraram-se três variáveis para a Lógica Fuzzy na *Toolbox Fuzzy Logic* do programa Matlab®. A primeira variável é a corrente (pu) de linha na fase sobrecarregada. A corrente foi modelada, conforme a Figura 6, com três variáveis linguísticas: Baixa (0 a 0,963 pu), Nominal (0,9 a 1,4 pu), Elevada (1,05 a 1,6 pu) e Sobrecarga (1,4 a 2 pu). Além disso, nível 0 indica que a variável descrita não pertence ao conjunto especificado pela variável linguística e 1 indica que a variável pertence.

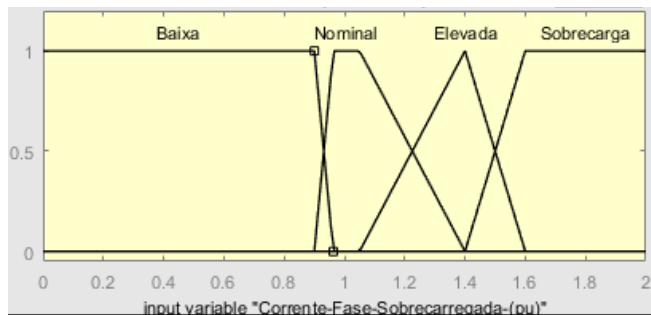


Fig. 6. Funções de pertinência da variável linguística de entrada – corrente do motor.

A segunda variável, por sua vez, é a carga mecânica (%) acoplada ao eixo que foi modelada em quatro variáveis linguísticas: Vazio, 67%, 75% e 100% de carga acoplada em relação à carga nominal, como apresentado pela Figura 7.

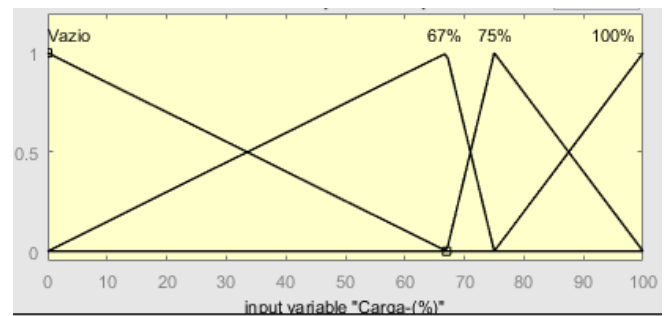


Fig. 7. Funções de pertinência da variável linguística de entrada - nível de carga do motor.

Por conseguinte, a terceira variável de entrada é a Temperatura (pu) dos enrolamentos do estator, apresentada na Figura 8. A temperatura é imprescindível para especificar a confiabilidade do motor e do isolamento interno das espiras estatóricas. Com isso, as variáveis linguísticas que modelam a temperatura (°C) são: Inferior (0 a 0,9 pu), Nominal (0,9 a 1 pu), Elevada (2,5 pu) e Crítica (2,5 a 3 pu).

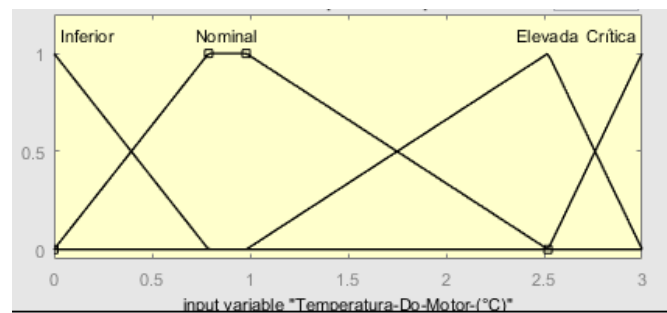


Fig. 8. Funções de pertinência da variável linguística de entrada – temperatura dos enrolamentos.

Considerando que as três variáveis de entrada foram definidas, modeladas e transformadas em variáveis linguística, a próxima etapa foi definida pelas regras. O conjunto dessas regras define o processo de inferência da Lógica Fuzzy, permitindo definir a validade de uma regra condicionalmente e, conseqüentemente, definindo o resultado de saída após a inferência com os dados de entrada. A variável de saída, portanto, é a Confiabilidade (%) do motor que é modelada pelas seguintes variáveis linguísticas: Baixa (0 a 50%), Média (0 a 100%) e Alta (50 a 100%). Ela está representada na Figura 9.

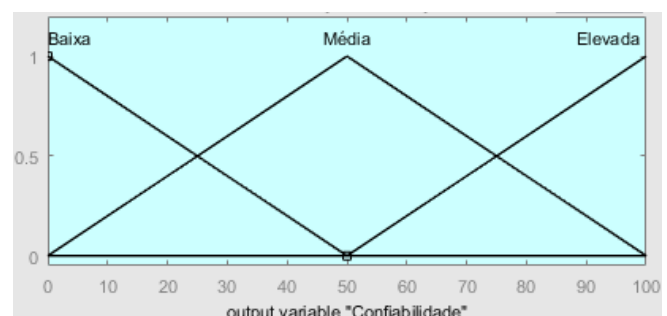


Fig. 9. Funções de pertinência da variável linguística de saída - nível de confiabilidade operacional.

IV. RESULTADOS

Em face a metodologia para avaliar o comportamento da corrente e da potência no motor quando submetidos a sinais de tensão com desbalanceamento e/ou distorção harmônica, curvas de comportamento da corrente em função do desbalanceamento e/ou distorção harmônica foram obtidas.

Inicialmente, são apresentados os resultados obtidos no ensaio em vazio, ensaio de rotor bloqueado e a medição da resistência do estator. Para esses ensaios, os seguintes parâmetros do circuito elétrico equivalente do motor: $R_s = 7,0476 \Omega$, $R_r = 3,5751 \Omega$, $X_s = 1,5428 \Omega$, $X_r = 2,3142 \Omega$, $Z_m = 44,6225 \Omega$ e $s = 0,0472$ pu, foram obtidos.

Por conseguinte, na Figura 10, é apresentado o comportamento da corrente nas fases A, B e C em função do desbalanceamento de tensão (FD) com reduções gradativas de 2% de 127 V da tensão eficaz de fase da fonte aplicados na fase C.

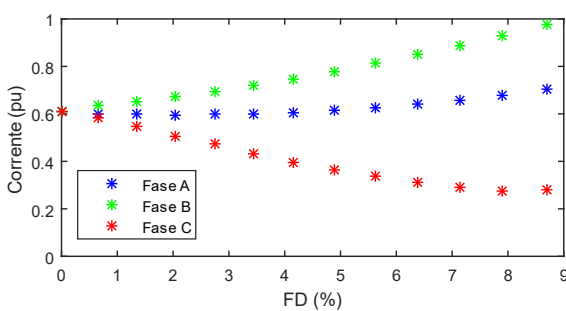


Fig. 10. Correntes de alimentação do motor em função do Fator de Desequilíbrio (%).

Em função dos resultados apresentados na Figura 10 é possível constatar que a redução da tensão de alimentação na fase C provocou o aumento da corrente nas fases A e B e a redução da corrente na fase C. Além disso, observa-se que a fase B atingiu a corrente nominal de 4,42 A para um FD de 8,7%. Vale ressaltar que, com as tensões equilibradas, as correntes de alimentação do motor se mantiveram com valor constante a 2,7 A, e, à medida que a tensão na fase C diminuía, a corrente da fase B aumentara até atingir seu valor nominal. Assim, a redução na tensão da fase C provocou também uma redução da corrente na fase C. O limite operacional do motor foi obtido para um FD de 8,7%, quando a corrente da fase B atingiu seu valor nominal. Para a mesma condição de carga, a corrente na fase B foi de 63% maior quando comparado às correntes obtidas para tensões equilibradas.

Paralelamente, são apresentados os resultados obtidos no ensaio de desbalanceamento de tensão em uma fase, diminuindo gradativamente a Fase C a cada 2% de 127V da tensão de fase da fonte com a presença de distorções harmônicas na tensão mencionadas no item III.B.

Por meio dos resultados apresentados na Figura 11, é possível constatar que a redução da tensão na fase C provocou sobrecarga na fase B, atingindo a corrente nominal de 4,42 A quando submetido à desequilíbrio de tensão de 8,70%. Além disso, é evidente que o harmônico de ordem 2 e distorção harmônica total (DHT) de 2% foi nitidamente superior que as demais enquanto que os demais harmônicos definidos apresentaram medições de corrente praticamente iguais e

ligeiramente superior à medição sem harmônicos.

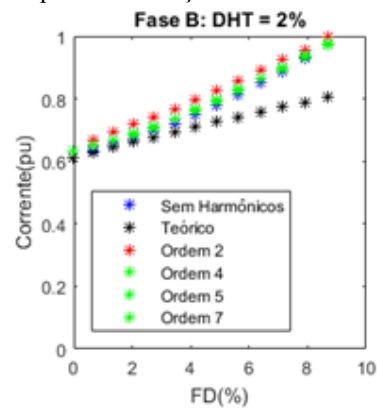


Fig. 11. Corrente (pu) em função do Fator de Desequilíbrio (%)

Na segunda etapa dos ensaios, Figura 12, é apresentado o comportamento das correntes nas fases A, B e C em função do desbalanceamento de tensão com reduções gradativas de 2% de 127V da tensão de fase da fonte nas fases B e C, simultaneamente.

Verificando os resultados apresentados na Figura 12, é possível constatar que a redução da tensão de alimentação nas fases B e C, provocou o aumento da corrente nas fases A e B com redução da corrente na fase C. Além disso, constata-se que foi necessário um desequilíbrio de tensão de 12,5%, ou seja, um fator de desequilíbrio de 3,8% maior em relação à Figura 10. Vale ressaltar que à medida que a tensão na fase B e C diminuía, as correntes nas fases A e B aumentaram, sendo a corrente na fase A maior que a corrente medida na fase B. Assim, o limite operacional do motor foi obtido para um fator de desequilíbrio de 12,5%, quando a corrente na fase A atingiu a corrente nominal.

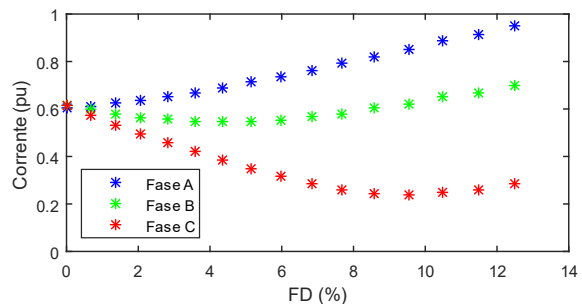


Fig. 12. Correntes de linha (A) em função do Fator de Desequilíbrio (%).

Analisando, por sua vez, os resultados apresentados na Figura 13, constatou-se que a redução da tensão nas fases B e C provocou sobrecarga na fase A, atingindo a corrente nominal de 4,42 A quando submetido à desequilíbrio de tensão de 12,5%. Além disso, é evidente que o harmônico de ordem 2 e distorção harmônica de 2% foi nitidamente superior que as demais. Portanto, o limite operacional dos motores sob estas condições é mais preocupante quando submetido a harmônicas próximas da frequência fundamental com diminuição simultânea do módulo da tensão de duas fases devido à má distribuição do campo girante no entreferro.

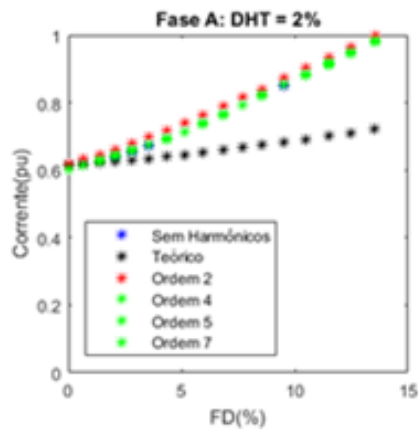


Fig. 13. Corrente (pu) em função do Fator de Desequilíbrio (%)

Diante de todos os ensaios realizados com desequilíbrio de tensão de alimentação do motor e/ou presença de harmônicos, pode-se finalmente verificar o funcionamento da Lógica Fuzzy na interface apresentada na Tabela X. Esta interface é a *Toolbox* do Matlab® dedicada à introdução dos dados de entrada de Corrente, Temperatura e Carga, como destacado nas Figura 6, 7 e 8. Após inserir os dados de entrada, o parâmetro de saída, Confiabilidade, será apresentada na janela. Com isso, fez-se testes com parâmetros iguais aos dos ensaios realizados e com parâmetros desconhecidos para verificar a versatilidade da lógica elaborada. Para os parâmetros de entrada que não foram obtidos experimentalmente, alguns ensaios foram realizados a fim de constatar a veracidade da Lógica Fuzzy. Por exemplo, para o caso de 85% de carga e 100% de carga quando a temperatura fosse nominal, verificou-se que a corrente máxima suportada pelo motor foi fielmente seguida pela lógica, apresentando uma confiabilidade adequada para cada nível de corrente inserida.

TABLE II. RESPOSTA DA LÓGICA FUZZY

Carga (pu)	Corrente (pu)	Temp (pu)	Confiabilidade (%)
0.5	1	1	82,8
0.7	1.3	1	48,7
0.7	1.3	3	18.1

CONCLUSÃO

Com base em todos os resultados obtidos experimentalmente e da modelagem da Lógica Fuzzy, pode-se concluir que a modelagem do motor, quando submetido à desequilíbrio de tensão e/ou presença de harmônicos, foi satisfatória. Com isso, é possível implementar esta modelagem em um controlador para obter uma margem mais ampla de confiabilidade do funcionamento da máquina de indução trifásicas.

REFERENCES

- [1] BADRI, Maher A. et al. "A novel in situ efficiency estimation algorithm for three-phase induction motors operating with distorted unbalanced voltages". In: Industry Applications, 2017 Transactions on. IEEE, 2017, p 5338-5347.
- [2] BRASIL. Lei 10.295, de 17.out.01 – "Lei de Eficiência Energética". Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. D.O.U., Brasília, DF, 18.out.2001. Disponível em: <http://www.mme.gov.br>. Acesso em: 23jan.2018.
- [3] Chapman, S.J., Electric Machinery Fundamentals, New York: McGraw Hill, 1998.
- [4] CHAUHAN, Abhishek; THAKUR, P. Power Quality Issues and their Impact on the Performance of Industrial Machines. Anchor Academic Publishing, 2016 A General Relation between Supply Harmonics and Reactive Power of an Induction Motor, Rakesh Roy, 2016
- [5] COX, Earl. The fuzzy systems handbook: a practitioner's guide to building, using, and maintaining fuzzy systems. New York: AP Professional, 1994.
- [6] DORF, Richard C. Systems, controls, embedded systems, energy, and machines. CRC press, 2016
- [7] ELETROBRAS, Dicas de economia de energia por setor de consumo. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/services/DocumentManagement/FileDownload.ETSvc.asp?DocumentID=%7B78C3767C-76C3-4A2C-BBBAE52D88C0EDE%7D&ServiceInstUID=%7B46764F02-4164-4748-9A41-C8E7309F80E1%7D> Acesso em: 21 jan. 2018.
- [8] Fitzgerald, A.E., Máquinas elétricas, 6ª Ed., São Paulo: McGraw-Hill, 2006.
- [9] FORTESCUE, C. L., Method of symmetrical coordinates applied to the solution of polyphase networks, AIEE Trans., pt. II, Vol. 37, pp. 1027–1140, 1918.
- [10] GRADY, M. Understanding Power System Harmonics. Texas: 2012, 3-12 p.
- [11] LIMA, Enio Camilo de et al. "Behavior of losses in three-phase induction motors under unbalanced voltages". In: Harmonics and Quality of Power (ICHQP), 2016 17th International Conference on. IEEE, 2016, p. 792-797.
- [12] LIMA, Enio Camilo de et al. "Diagnosis of induction motors operating under distorted and unbalanced voltages". In: Harmonics and Quality of Power (ICHQP), 2016 17th International Conference on. IEEE, 2016, p786-791.
- [13] MICERINO, F. J. Impacto da utilização de motores de alto rendimento e sua aplicação no leilão de eficiência energética. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- [14] NEVES, Ana Bárbara Fernandes et al. "Effects of voltage unbalance and harmonic distortion on the torque and efficiency of a Three-Phase Induction Motor". In: Harmonics and Quality of Power (ICHQP), 2016 17th International Conference on. IEEE, 2016. p. 943-948.
- [15] NEVES, Ana Bárbara Fernandes et al. "Effects of voltage unbalance on torque and efficiency of a three-phase induction motor". In: Harmonics and Quality of Power (ICHQP), 2014 16th International Conference on. IEEE, 2014. p. 679-683.
- [16] PAULILO, G. Qualidade de energia: Desequilíbrios de tensão. O Setor Elétrico-Os frutos da NR, v. 10, p. 42-48, 2013.
- [17] POLICARPO, J.; DE ABREU, G.; EMANUEL, A. E. "Induction motors loss of life due to voltage imbalance and harmonic: a preliminar study". In: Proc. 9th IEEE Int. Conf. Harmonics Quality Power. 2000. P. 1-4.
- [18] PIVETA, F. C. B. Estudo dos grupos geradores síncronos. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade São Francisco, São Paulo.
- [19] QUISPE, Enrique C. et al. "Effects of unbalanced voltages on the energy performance of three-phase induction motors". In: Power Electronics and Power Quality Applications (PEPQA), 2015 Workshop on. IEEE, 2015, p. 1-6.
- [20] WANG, Yaw-Juen. "Analysis of effects of three-phase voltage unbalance on induction motors with emphasis on the angle of the complex voltage unbalance factor". IEEE Transactions on energy conversion, v. 16, n. 3, p. 270-275, 2001.
- [21] FAIZ, J., EBRAHIMPOUR, H., PILLAY P. Influence of unbalanced voltage supply on efficiency of three phase squirrel cage induction motor and economic analysis". In: Energy Conversion and Management, vol. 47, 2006, pp. 289–302.

Estudo de Resistência à Compressão do Cimento Portland com adição de Catalisador de Equilíbrio (E-Cat)

Filipe Leal Carvalho dos Santos
Dep. de Engenharia Química
Univ. Fed. Rural do Rio de Janeiro
Seropédica – RJ - Brasil
filipecarvalho@gmail.com

Antonio Renato Bigansolli
Dep. de Engenharia Química
Univ. Fed. Rural do Rio de Janeiro
Seropédica – RJ - Brasil
bigansolli.arb@gmail.com

Hélio Fernandes Machado Júnior
Dep. de Engenharia Química
Univ. Fed. Rural do Rio de Janeiro
Seropédica – RJ - Brasil
hfmjr@ufrrj.br

Geovanna Confalone Salgado da Silva
Dep. De Engenharia Química
Univ. Fed. Rural do Rio de Janeiro
Seropédica – RJ – Brasil
geovannaconfalone@hotmail.com

Resumo — As refinarias de petróleo demonstram grande preocupação com o destino de resíduos sólidos devido à problemática de possíveis impactos ambientais. Um desses resíduos é o Catalisador de Equilíbrio (E-Cat), utilizado no craqueamento catalítico do petróleo, que, com o passar do tempo e de acordo com o tipo de processamento, é desativado pelas refinarias, devido ao acúmulo de contaminantes como metais pesados e coque. Esse estudo será direcionado para reutilização do E-Cat como carga com cimento Portland – CPII na produção de concreto. No estudo foi desenvolvido o processo de mistura, moldagem e análise mecânica do cimento Portland com adição de E-Cat através do ensaio de resistência à compressão com idade de ruptura de 3 dias. Como resultados, a interação do E-Cat com o cimento Portland, em dois dos quatro tipos de E-Cat, possibilitou um aumento da resistência à compressão do cimento Portland com adição de E-Cat comparado ao cimento Portland composto (CP-II), com tempo de cura de 3 dias. Esse aumento de resistência à compressão indicou a melhoria da propriedade mecânica do material.

Keywords — cimento Portland, resistência à compressão, catalisador de equilíbrio, E-Cat, análise.

I. INTRODUÇÃO

Há algumas décadas vem sendo discutida a preocupação com o meio ambiente, sendo um dos pontos-chaves, o descarte de resíduos sólidos gerados pela sociedade [1].

O pensamento global está voltado para cidades sustentáveis, que implica numa forte interação da sociedade como um todo – Estado, setor produtivo e sociedade geral – focando na geração de novas tecnologias

que englobem a preservação e responsabilidade com o meio ambiente [1].

Os catalisadores de equilíbrio (E-cat) são utilizados nas refinarias de petróleo para realizar o craqueamento catalítico do petróleo (uma das principais etapas na transformação do petróleo em seus derivados). Esses catalisadores de equilíbrio, quando saturados, ficam ricos em metais pesados e coque. Esses compostos são altamente nocivos ao meio ambiente e seu descarte precisa ser feito de forma eficiente e extremamente segura [1].

O E-Cat é descartado em aterros industriais onde a empresa que os gerou fica responsável por esse descarte, porém, além do descarte ser feito de forma eficiente, ainda oferece risco para o meio ambiente como também um gasto alto na manutenção e geração dos aterros industriais [1].

Além deste fator ambiental, o E-Cat possui na maior parte da sua composição, os componentes de silicato e alumina, em torno de 95% da composição química, tornando o material relativamente parecido com o clínquer, principal componente do cimento Portland, que também possui uma faixa de silicato e alumina similar a do E-Cat [1].

II. MATERIAIS

A. Cimento

O cimento Portland é constituído de clínquer e de adições de gesso além de outros aditivos que definem os diferentes tipos de cimento. O clínquer, principal componente, é obtido através da queima da matéria-prima, que foram retiradas das jazidas, e posteriormente moído. O gesso é utilizado por influenciar a cura e o endurecimento do cimento e outros aditivos como a escória de alto forno, materiais pozolânicos, as sílicas

ativas, etc, modificam suas propriedades para diferentes especificações [3].

O cimento utilizado neste trabalho foi o CP-II Z 32, produzido pela Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), este é um cimento com adição de material pozolânico e de boa resistência mecânica.

B. Catalisador de Equilíbrio

Durante o processo de refinamento do petróleo são gerados resíduos, sendo um deles o catalisador que é utilizado no craqueamento catalítico do petróleo para quebrar as grandes moléculas de hidrocarbonetos. Este catalisador (zéolito sintético) formado basicamente por alumina e sílica [2].

Em um determinado momento, o catalisador apresenta baixa atividade e precisa ser removido da unidade de craqueamento e substituído por um novo catalisador para manter a atividade catalítica esperada. O catalisador rejeitado é o E-Cat [2].

O E-Cat utilizado na pesquisa foi fornecido pela Fábrica Carioca de Catalisadores (FCC) em quatro tipos, com composições diferentes entre elas. As composições de cada tipo de E-Cat como é demonstrado na Fig. 1.

	1091-16	1127-16	1148-16	1157-16
SiO ₂	40,42	48,04	46,75	47,6
Al ₂ O ₃	54,29	46,78	48,8	46,95
Na	0,32	0,45	0,28	0,38
Fe	0,42	0,36	0,47	0,42
RE	3,37	2,75	2,14	2,87
P ₂ O ₅	0,17	0,47	0,44	0,43
Ni	510	1216	1467	1797
V	930	1634	747	2073

Fig.1: Composição dos quatro tipos de E-Cat através da Fluorescência de Raios-X.

C. Aparato experimental

Neste trabalho foi desenvolvido um aparato experimental com intuito de substituir o molde adotado pela norma NBR 7215/96 [4]. O aparato experimental consistiu de um cano PVC de 47,7 mm de diâmetro interno, com um tampão na parte inferior, um pistão de PVC e uma espátula como mostrado na Fig. 2. A espátula serviu para o alinhamento das bases dos corpos-de-prova.



Fig.2: Aparato experimental utilizado na prensagem dos corpos de prova.

III. MÉTODOS

A. Análise Granulométrica

A análise granulométrica por peneiramento das amostras foi realizada em um agitador de peneiras EDUTEC, à temperatura ambiente, utilizando peneiras de 40#, 60# e 270# mesh com tempo de peneiramento de 5 minutos.

Devido ao grande potencial do cimento em absorver umidade do ambiente, a amostra de cimento foi seca em forno estufa FANEM, modelo 515, com temperatura de, aproximadamente, 108°C pelo tempo de 6 horas.

B. Preparo da mistura

O preparo da argamassa foi realizado utilizando cinco tipos de corpos-de-prova (CP) sendo quatro tipos com adição de 10% de E-Cat dos quatro tipos diferentes no percentual de cimento e um sem adição de E-Cat no cimento.

A argamassa foi preparada seguindo as especificações da norma ABNT NBR 7215:16 [4], com algumas alterações, por meio de mistura manual da argamassa, onde foi utilizado um recipiente com volume de 5L e uma espátula.

Inicialmente, toda a quantidade de água foi colocada no recipiente e foi sendo adicionado cimento gradualmente durante 30 s. Após esse tempo, iniciou-se a colocação da areia já homogeneizada, com o cuidado de que toda a areia fosse colocada gradualmente durante o tempo de 30 s. Imediatamente, foi elevada a intensidade da mistura manual do operador durante o tempo de 30 s. Ao término da mistura, a argamassa ficou em repouso no recipiente, coberto com pano úmido e limpo, durante o tempo de 1 min e 30 s. Após esse intervalo, foi feita mais uma mistura manual com alta intensi-

dade durante o tempo de 1 min. As quantidades de materiais a misturar são indicadas na Tab.1 [4].

Material	Massa para mistura (g)
Cimento Portland	624 ± 4
Água	300 ± 0,2
Areia normal homogeneizada	1872 ± 1,2
NOTA	
Quantidade de material para moldar seis corpos de prova	

Tab.1: Quantidades de materiais da mistura.

C. Moldagem e cura dos corpos de prova

Imediatamente após o preparo da mistura, a argamassa foi colocada nos moldes com o auxílio de uma colher, em quatro camadas de alturas aproximadamente iguais, recebendo cada camada 30 golpes uniformes com um soquete. Ao término do preenchimento dos moldes, a operação foi finalizada com a rasadura do topo dos corpos-de-prova, por meio de uma espátula, deslizando sobre as bordas do molde em direção normal à espátula, dando-lhe também um movimento de vaivém na sua direção.

Os corpos-de-prova foram submetidos a um período de cura inicial ao ar e a um período final em água.

Para a realização da cura inicial, os corpos-de-prova, logo após a moldagem e ainda nos moldes, foram alocados em câmara úmida, onde permaneceu durante 24 h com a parte superior coberta com plástico rígido inerte. A câmara úmida foi desenvolvida pelo autor, com as paredes feitas de madeira e com um evaporador de água no interior da câmara, para manter a umidade relativa do ar da câmara próxima a 95%.

Terminado o período inicial de cura, os corpos-de-prova foram retirados dos moldes, identificados e imersos em um tanque, de plástico rígido inerte, com água saturada de cal, onde permaneceu até o momento do ensaio. Os corpos-de-prova foram envolvidos em toalha úmida até o instante do ensaio de compressão.

D. Ensaio de compressão simples

Após a cura por 3 dias, as dimensões dos corpos-de-prova foram medidas para ser realizado o ensaio de compressão simples. O ensaio mecânico foi feito no Laboratório de Engenharia Florestal, da UFRRJ, campus Seropédica, utilizando Máquina Universal de Ensaio Mecânicos da marca CONTENCO, modelo UMC 300.



Fig.3: Corpos de prova antes do processo de cura.

Com o objetivo de oferecer uma melhor identificação das amostras na realização da pesquisa, o cimento e os tipos de E-Cat foram nomeados por letras do alfabeto e definidos da seguinte maneira:

- Amostras tipo A – Série 1091-16;
- Amostras tipo B – Série 1127-16;
- Amostras tipo C – Série 1148-16;
- Amostras tipo D – Série 1157-16;
- Amostras tipo E – Cimento.

O carregamento foi aplicado com velocidade de deformação controlada em 10 kgf/s, sendo a carga inicial aplicada de 20 kgf. O carregamento só cessou quando foi atingida a carga máxima alcançada, obtendo a fratura do corpo de prova.

As resistências individuais das amostras foram calculadas pela Equação (1).

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

σ = resistência à compressão individual, em MPa.

F = carga máxima de ruptura sobre o corpo-de-prova, em kgf.

A = área da seção transversal do corpo-de-prova, em cm².

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A. Classificação granulométrica

Através dos resultados obtidos de distribuição granulométrica do E-Cat e do cimento apresentados na Figura X, feita por peneiramento, podemos observar que a grande maioria das partículas de E-Cat possuem tamanho em torno de 53 μ m e as partículas de cimento são mais distribuídas entre 250 μ m e 53 μ m.

A granulometria do E-Cat é devido ao processo de cominuição realizada na Fábrica Carioca de Catalisadores. Esse processo de cominuição do E-Cat permitiu que a sua distribuição granulométrica fosse próxima do cimento, facilitando a acomodação do E-Cat durante a compactação com o cimento.

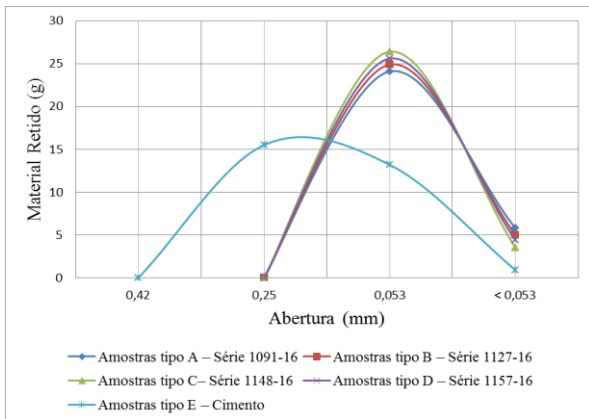
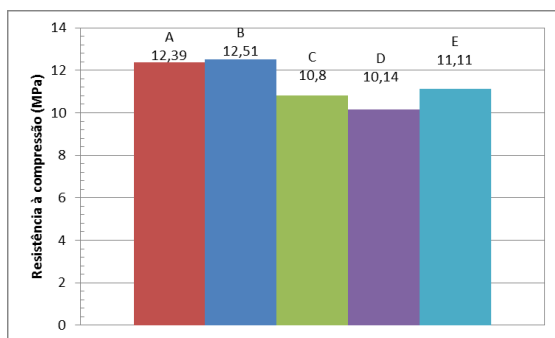


Fig.4: Curva de distribuição granulométrica do E-Cat e cimento.

B. Ensaio de Resistência à Compressão

Após a realização dos ensaios foi possível analisar os testes de resistência à compressão dos CPs e os resultados estão demonstrados no Graf.1.



Graf.1: Ensaio de resistência à compressão.

Podemos observar que as amostras A e B obtiveram uma maior resistência que o cimento Portland sem adição de E-Cat, amostra E. Com esse resultado, analisando a resistência mecânica, podemos entender que a adição destes E-Cats são aditivos eficientes na composição do cimento.

Segundo o Guia básico de utilização do cimento Portland da Associação Brasileira de Cimento Portland [5], as amostras C e D apresentaram resistência à compressão superior ao esperado do cimento Portland, onde é preciso resistir minimamente à 10 Mpa para ser considerado um material propriamente adequado para uso comercial.

Podemos concluir que os resultados apresentados foram satisfatórios e possibilitam a continuação da pesquisa sustentável pela busca da reutilização do E-Cat, que, atualmente, é descartado em aterros industriais.

VI. Referências

[1] - GUILHERMINO, R. **Estudo de Laboratório de um Resíduo Catalisador de Equilíbrio para Utilização em Alvenaria na Construção Civil**. Dissertação de Mestrado, Rio de Janeiro, 2008.

[2] - FAJARDO, B. **Aproveitamento de dois resíduos Industriais – Pó do corte do granito e do Catalisa-**

dor do craqueamento do petróleo - na fabricação de elementos construtivos estruturais. Dissertação de Mestrado, Rio de Janeiro, 2005.

[3] - BAUER, L.A. F. **Materiais de Construção**. LTC, Rio de Janeiro, 2008.

[4] - Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 7215: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão: ABNT 1996.

[5] - Associação Brasileira de Cimento Portland. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. 7º ed. São Paulo, 2002. 28p. (BT-106)

Eficiência Energética por Meio da Análise da Demanda Contratada, Consumo e Enquadramento Tarifário do Grupo “A”: Estudo de Caso no IFPA Câmpus Parauapebas

Francisco Silva e Serpa
Instituto Federal do Pará – Câmpus
Parauapebas
Pará, Brasil
francisco.serpa@ifpa.edu.br

William Fernandes Vilhamor
Instituto Federal do Pará – Câmpus
Parauapebas
Pará, Brasil
williamvilhamor@gmail.com

Pablo Gama Barros da Silva
Instituto Federal do Pará – Câmpus
Parauapebas
Pará, Brasil
Pablogama.757@gmail.com

Ricardo Alex Dantas da Cunha
Instituto Federal do Pará – Câmpus
Parauapebas
Pará, Brasil
ricardo.alex@ifpa.edu.br

Wellington Oliveira Aguiar Bezerra
Instituto Federal do Pará – Câmpus
Parauapebas
Pará, Brasil
wellingtonbrejo94@gmail.com

Resumo— O desperdício de energia elétrica nas instituições públicas de ensino é alarmante. A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) publicou em outubro de 2016 através da chamada 01/2016 as concessionárias distribuidoras de energia elétrica, que visa entre outros objetivos investir em eficiência energética e minigeração nas instituições, o que evidencia a ausência de gestão estratégica energética e a falta da cultura de otimização dos recursos energéticos. Assim este trabalho poderá ajudar na busca pela minimização dos desperdícios com energia elétrica e dos recursos públicos nas instituições, à medida que irá propor uma metodologia eficiente de enquadramento tarifário, capaz de avaliar e ajustar a demanda contratada (kW). A metodologia consiste em alcançar a eficiência energética, por meio da análise da demanda, enquadramento tarifário e do consumo de energia elétrica, na unidade consumidora, em especial ao estudo de caso do Instituto Federal do Pará – Câmpus Parauapebas (IFPA), através da análise das faturas mensais de energia elétrica e do embasamento das resoluções e normas sobre os tipos de tarifações de energia elétrica dos grupos A4. Com isso, espera-se ajustar a demanda contratada de carga (kW). E almejar a redução de custo para a Administração Pública proporcionando uma forma prática de análise e indicação do melhor enquadramento tarifário do grupo estudado, e com isso alcançar o consumo sustentável e contratos eficientes de energia elétrica.

Palavras Chaves—Demanda, Enquadramento, Eficiência Energética.

I. INTRODUÇÃO

A eficiência energética em prédios públicos é uma tendência sustentável cada vez mais cobrada dos gestores públicos, no entanto, muitos têm o entendimento que para se alcançar tal objetivo se precisaria de altos investimentos, o que em alguns casos isso até pode ser verdade, mas existem ações voltadas para eficiência energética que podem fornecer bons resultados, desde que sejam consideradas

políticas internas a serem cumpridas e monitoradas constantemente (Oliveira et al., 2015). Em relação a isso Batista et al (2012) acrescenta que a análise do histórico das tarifas mensais de energia elétrica pode ser apontada com uma dessas ações, e que se enquadra como uma proposta de eficiência que envolve diretamente o papel da gestão energética, com a principal finalidade de identificar e aplicar método que diminua o consumo e custo com energia elétrica.

II. RESOLUÇÕES NORMATIVAS

Esta seção apresenta normas importantes para caracterização da unidade consumidora (UC) em estudo.

A. Modalidades tarifárias

De acordo com Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), por meio da Resolução Normativa (REN) N° 414 e atualizada pela REN 418, que estabelece as condições gerais de fornecimento de energia elétrica, classifica os consumidores do grupo A no intervalo de tensão fornecida conforme tabela 1.

TABELA I – FORNECIMENTO DE TENSÃO NO GRUPO A

GRUPO A – Alta Tensão	
A1	Tensão de fornecimento igual ou superior a 230 kV
A2	Tensão de fornecimento de 88 kV a 138 kV
A3	Tensão de fornecimento de 88 kV
A4	Tensão de fornecimento de 30 kV a 44 kV
AS	Tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV, atendida a partir de sistema subterrâneo de distribuição e faturada no Grupo A excepcionalmente.

Assim para os grupos mencionados a ANEEL por meio da REN N° 414 atualizada pela REN N°479 define em seu Art.2, Inciso L, modalidade tarifária como sendo: “conjunto de tarifas aplicáveis às componentes de consumo de energia elétrica e demanda de potências ativas, considerando as seguintes modalidades pertencentes ao Grupo A:

a) Modalidade tarifária horária verde: aplicada às unidades consumidoras do grupo A, caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia, assim como de uma única tarifa de demanda de potência;

b) Modalidade tarifária horária azul: aplicada às unidades consumidoras do grupo A, caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e de demanda de potência, de acordo com as horas de utilização do dia.

É importante salientar que para área de concessão das Centrais Elétricas do Pará S/A (CELPA), onde se pretende aplicar este estudo, a Modalidade tarifária Convencional Binômia, foi extinta para aplicação no grupo A, pela Resolução Homologatória 1930/2015 da ANEEL, na 4ª Revisão Tarifária Periódica – RTP, fato também já previsto pela REN N° 414, a partir da 3ª Revisão Tarifária Periódica – RTP.

As tarifas diferenciadas por períodos do ano e horários do dia são definidos pela REN N° 414 atualizada pela REN N°479 define em seu Art.2, Inciso LIV-A, os períodos, como:

a) Seco: período de 7 (sete) período de 7 (sete) ciclos de faturamento consecutivos, referente aos meses de maio a novembro;

b) Úmido: período de 5 (cinco) ciclos de faturamento consecutivos, referente aos meses de dezembro de um ano a abril do ano seguinte;

E sobre o posto tarifário: período de tempo em horas para aplicação das tarifas de forma diferenciada ao longo do dia, considerando a seguinte divisão:

Posto tarifário Ponta: período composto por 3 (três) horas diárias consecutivas definidas pela distribuidora considerando a curva de carga do sistema elétrico., aprovado pela ANEEL para toda a área de concessão ou permissão, com exceção feita aos sábados, domingos e feriados nacionais. Salienta-se ainda que para área de concessão das Centrais Elétricas do Pará S/A (CELPA) o Posto tarifário Ponta compreende o período entre as 18h30 as 21h29.

Posto tarifário fora de ponta: período composto pelo conjunto das horas diárias consecutivas e complementares àquelas definidas nos postos ponta.

Outro ponto a ser destacado é o enquadramento das modalidades tarifárias pertencentes ao grupo A:

I – na modalidade tarifária horária azul, aquelas com tensão de fornecimento igual ou superior a 69 kV;

II – na modalidade tarifária horária azul ou verde, de acordo com a opção do consumidor, aquelas com tensão de fornecimento inferior a 69 kV e demanda contratada igual ou superior a 300 kW; e III – na modalidade tarifária horária azul ou verde, de acordo com a opção do consumidor, aquelas com tensão de fornecimento inferior a 69 kV e demanda contratada inferior a 300 kW.

Demanda de ultrapassagem (DU), demanda contratada (DCT) e demanda consumida (DCN).

Quando a Demanda Consumida (DCN) superar em 10% a Demanda Contratada (DCT), passará a ser contabilizada como Demanda Ultrapassada (DU). Logo, cabe acrescentar que o preço pago pelo kW da DU (P(R\$)DU)

pode chegar até o triplo pago da DCT (P(R\$)DCT), de acordo com a Resolução Homologatória 1930/2015 e 2.284/2017 da ANEEL. Assim, podem-se tirar as seguintes equações para as análises das demandas.

$DCN > DCT \times 1,1$. Se pagará o triplo por cada kW de demanda ultrapassada, pior situação, condição de ineficiência do contrato de energia elétrica.

$DCN < DMC \times 1,1$. Se pagará o mesmo preço por cada kW pago na demanda contratada, pagará também toda a demanda contratada mesmo que não tenha sido utilizada, condição com baixo nível de eficiência do contrato de energia elétrica.

$DCN = DCT$. Se pagará o preço do kW pago na demanda contratada, situação ideal de eficiente do contrato, pois cada kW de demanda pago será consumido.

III. METODOLOGIA

A verificação dos custos com a demanda de ultrapassada, a previsão da demanda otimizada a ser contratada, e a simulação comparativa das diferentes modalidades tarifárias para a UC do Instituto Federal do Pará Câmpus Parauapebas se concendeu pelo método analítico indutivo apresentado nesta secção.

Os dados coletados da memória de massa das faturas de energia elétrica que foram analisados podem ser obtidos em qualquer concessionária distribuidora de energia. As faturas de energia elétrica foram examinadas através de medições em média tensão para o grupo A4 modalidade tarifária verde, na forma de relatório mensal durante 12 meses, com os períodos especificados, apresentando as medições de consumo ativo (kWh), demanda contratada, consumida e ultrapassada.

O nível de eficiência do contrato em relação a demanda contratada se dará pela média das demandas máximas consumidas do período de dados coletados. Em seguida se multiplicará pelo fator de avaliação de demanda consumida - ft , conforme pode ser observado nas equações (1) a (3) abaixo, para previsão e ajuste da demanda da tarifação horária verde.

$$ft = \frac{((\sum_{P:2}^M DCma) \times 100)}{(\sum_{P:1}^M DCma)} \quad (1)$$

$$EDM = \frac{\sum_{A:2017,2018}^M DCma}{12} \quad (2)$$

$$DE = ft \times EDM$$

(3)

Onde: DC_{ma} - Demanda máxima consumida no mês M do ano A; M = 1 a 12 Meses; A = 2017 e 2018; EDM – Estimativa da demanda máxima; DE – Demanda estimada para a eficiência do contrato; *f_t* – Fator de avaliação de demanda consumida no período P; P - São os períodos ou o intervalo de tempo em meses M que serão comparados, quanto maior o período de dados significativos e confiáveis melhor e mais confiável é fator *f_t*, sendo P1 o período mais antigo e P2 o período mais atual.

Considerando que para a tarifação horossazonal azul é necessário a definição da demanda a ser contratada em horário de ponta (18h30 as 21h29) e para o horário fora de ponta (21h30 as 18h29). E tendo em vista a média da demanda estimada para a eficiência (DE = DCN) como 100% da demanda consumida para o contrato, conforme pode ser compreendido pelas equações (4) e (5) abaixo:

$$DCP_{ma} = ((ECP)/(ECP+ECF)) \times DME \quad (4)$$

$$DCF_{ma} = ((ECP)/(ECP+ECF)) \times DME \quad (5)$$

As equações (6) e (7) são para as definições das demandas de ponta e fora de ponta.

$$DCEP = ((\sum_M DCP_{ma})/\beta) \quad (6)$$

$$DCEF = ((\sum_M DCF_{ma})/\beta) \quad (7)$$

Onde: ECP – Energia consumida em horário de ponta em kWh, no mês M do ano A; ECF – Energia consumida em horário fora de ponta em kWh, no mês M do ano A; DME – Demanda estimada para a eficiência do contrato; DCP_{ma} – Demanda contratada eficiente em ponta em kW, considerando o consumo do mês M do ano A; DCF_{ma} – Demanda contratada eficiente fora de ponta em kW, considerando o consumo do mês M do ano A; DCEP – Demanda contratada eficiente em ponta em kW a ser contratada, considerando a média DCPC_{ma}; DCEF – Demanda contratada eficiente fora de ponta em kW a ser contratada, considerando a média DCFC_{ma}; β - Número de meses do histórico de consumo de energia elétrica analisados;

Logo a equação (8) fará o cálculo do custo (R\$) do consumo de energia elétrica para a tarifação horossazonal verde e a equação (9) para a horossazonal azul, para cada UC do grupo A4 em estudo.

$$THVc = (ECFc \times VEF) + (ECPc \times VEP) \times (VD \times DCc) \quad (8)$$

$$THAc = (ECFc \times VEF) + (ECPc \times VEP) \times (DCPc \times VDP) + (DCFc \times VDF) \quad (9)$$

Onde: ECPC – Energia consumida em horário de ponta; ECF – Energia consumida em horário fora de ponta; DC – Demanda contratada (Ponta e fora de ponta) do contrato; DCP – Demanda contratada eficiente em ponta; DCF – Demanda contratada eficiente fora de ponta; VD – Valor da demanda contratada única para ponta e fora de ponta em R\$ por kW; VDF – Valor da demanda contratada fora de ponta em R\$ por kW; VDP – Valor da demanda contratada em ponta em R\$ por kW; VEF – Valor da energia consumida no horário fora de ponta em R\$ por kWh; VEP – Valor da energia consumida no horário em ponta em R\$ por kWh; THV – Valor tarifação horossazonal verde em (R\$); THA – Valor tarifação horossazonal azul em (R\$);

Após definidos os valores de THVc e THAc do histórico de dados, verifica-se o comparativo das duas modalidades tarifárias

TABELA II – DEMANDAS COLETADAS DO IFPA CÂMPUS PARAUAPEBAS

Mês.Ano	D. Cons. (kW)	DUDC (kW)	DF (kW)	TDF (R\$)	TDFSC (R\$)	TFDU (R\$)
Jun.2017	96,01	24,01	96,01	3.999,97	0,00	1.333,68
Jul.2017	77,11	5,11	77,11	2.238,92	0,00	0,00
Ago.2017	74,35	2,34	74,34	2.207,59	0,00	0,00
Set.2017	97,02	25,02	97,02	5.157,90	0,00	1.755,07
Out.2017	105,58	33,58	105,58	6.146,93	0,00	2.390,12
Nov.2017	89,96	17,96	89,96	4.460,44	0,00	1.272,95
Dez.2017	96,76	24,76	96,76	4.975,79	0,00	1.684,72
Jan.2018	77,36	5,36	77,36	2.963,18	0,00	360,87
Fev.2018	67,3	0	72	2.418,77	157,89	0,00
Mar.2018	91,72	19,72	91,72	4.370,89	0,00	1.314,63
Abr.2018	85,17	13,17	85,17	3.813,20	0,00	901,00
Mai.2018	88,68	14,68	86,68	4.164,80	0,00	1.054,11
Total Anual	1045,01	185,71	1049,71	46.918,37	157,89	12.067,15

Onde: D. Cons.: Demanda Contratada em kW; DUDC: Demanda Ultrapassada da Demanda Contratada; DF: Demanda Faturada; TDF: Total de Demanda Faturada; TDFSC: Total de Demanda Faturado sem ser Consumido; TFDU: Total Faturado por Demanda Ultrapassada.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A. Enquadramento da modalidade tarifária

A primeira análise dos resultados obtidos foi a simulação comparativa do enquadramento tarifário para as duas modalidades, conforme figura 1 e 2. A modalidade tarifária verde, atual da UC em estudo, se manteve ao longo dos 12 meses sempre com o custo abaixo em relação a modalidade tarifária azul. Em relação ao custo anual a mudança ocasionaria um aumento de 12,26 % no custo anual da conta de energia.

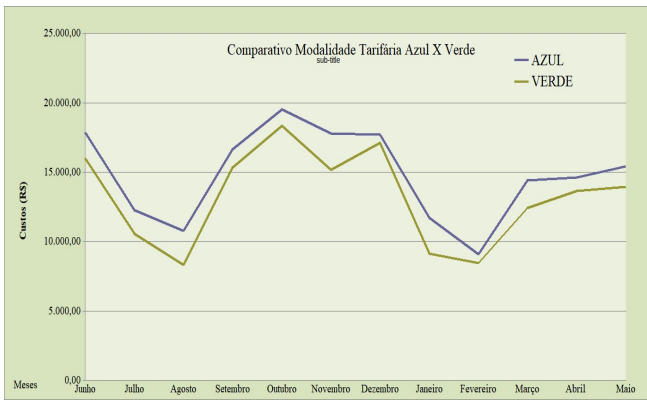


Figura 1. Comparativo entre as duas modalidades tarifárias ao longo dos meses.

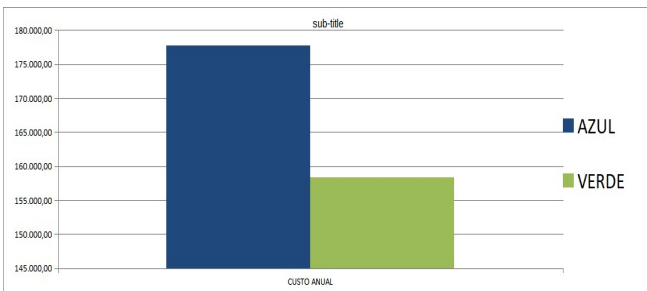


Figura 2. Custo anual comparativo da simulação das duas modalidades tarifária.

B. Otimização da demanda contratual

A demanda contratual atual de fornecimento de energia elétrica do IFPA Câmpus Parauapebas é de 72,0 kW, e conforme tabela 2 somente em três meses durante os 12 meses não foi cobrado a demanda de ultrapassagem, mostrando a ineficiência na redução de custos na energia elétrica e um dos gargalos para se chegar na eficiência energética da UC.

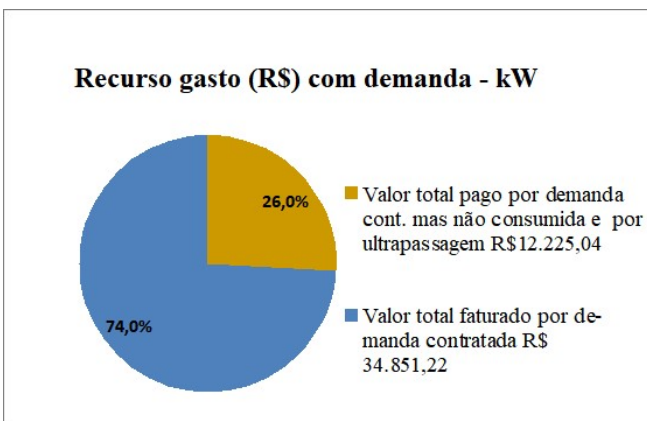


Figura 3. Recurso gasto com demanda contratada x Recurso gasto com demanda cont. mas não consumida e por ultrapassagem – ano 06/2017 a 05/2018.

Conforme o gasto anual com a demanda atual apresentada na figura 3, 26 % representa a demanda cont. mas não consumida e por ultrapassagem, sobre uma demanda total de faturamento de R\$ 47.076,26 (quarenta e sete mil, setenta e seis reais e vinte e seis centavos). A partir dessa necessidade, aplicou-se o método analítico descrito na secção 3 para se chegar na otimização da demanda contratada. Após processamento dos dados o resultado para otimização da demanda contratual foi de 96 kW. Na figura 4, apresenta o mesmo histórico de demanda consumida da figura 3, mas processada com a nova demanda contratual para efeito de comparativo.

Podemos observar em uma perspectiva comparativa que apesar do aumento da demanda faturada contratada e da demanda cont. mas não consumida, eliminou-se a demanda de ultrapassagem (tarifação superior). Logo, se obteve uma redução percentual do recurso gasto com demanda cont. mas não consumida e por ultrapassagem de 65 % e a redução percentual do custo final da demanda de 10,47 %.

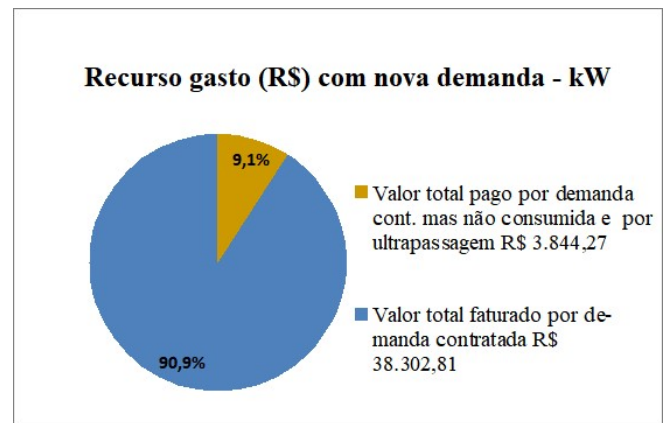


Figura 4. Recurso gasto com nova demanda x Recurso gasto com demanda ultrapassada – ano 06/2017 a 05/2018

V. CONCLUSÕES

Os resultados apontaram para uma análise clara e crítica sobre a mudança da demanda contratual que interfere potencialmente no custo da energia elétrica, caso haja necessidade da mudança. O estudo de caso com o cenário apresentado, evidenciou que o enquadramento da modalidade tarifária para azul não é viável e que o ponto crítico para o alcance da eficiência energética sobre os custos está sobre a demanda. Vale ressaltar que os dados coletados para o estudo de caso foram de 12 meses, mas para unidades consumidoras com variação anual média elevada deve-se tomar como base um intervalo maior de dados coletados e projeções futuras.

REFERENCIA

- [1] AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Resolução Normativa (REN) Nº 414. **Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada**, 2010.
- [2] AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Resolução Normativa (REN) Nº 418. **Retifica a Resolução Normativa ANEEL no 414, de 23 novembro de 2010**, 2010.
- [3] AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Resolução Normativa (REN) Nº 449. **Altera a Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010**, 2011.
- [4] AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Resolução Normativa (REN) Nº 479. **Altera a Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010, que estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada**, 2012
- [5] AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Resolução Homologatória nº 1.930. **Homologa o resultado da quarta revisão tarifária periódica – RTP da Centrais Elétricas do Pará S/A., CELPA, as tarifas de energia – TE e as tarifas de uso do sistema de distribuição – TUSD, e dá outras providências**, 2015.
- [6] AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Chamada nº 01/2016. **Projeto Prioritário de Eficiência Energética e Estratégico de P&D:” Eficiência Energética e Minigeração em Instituições Federais de Ensino**, 2016.
- [7] BATISTA, O. E.; FLAUZINO, R. A. **Medidas de Gestão Energética de Baixo Custo como Estratégia para Redução de Custos com Energia Elétrica**. Revista GEPROS. Gestão da Produção, Operação e Sistemas, Vol. 7, Nº 4, p.117-134, 2012.
- [8] OLIVEIRA C. S.; MARQUES J. J. A.; JUNIOR B. F. S.; LINARD F. M. A.; ALMEIDA A. R. **Análise Tarifária Da Universidade Federal do Piauí – Campus Petrônio Portela**. Congresso Técnico Científico de Engenharia e da Agronomia – CONTECC. Fortaleza - CE. 2015.

Síntese, caracterização físico-química e estudos de degradação e citotoxicidade de esferas de quitosana para adsorção e liberação de moléculas

Ingrid Russoni de Lima
Metalurgical Engineering
UFF
Volta Redonda, Brasil
ingridrussoni@gmail.com

Márcio Teodoro
Metalurgical Engineering
line 3: UFF
Volta Redonda, Brasil
teodor_fernandes@id.uff.br

Anderson Virgílio
Metalurgical Engineering
UFF
Volta Redonda, Brasil
line 5:
vergilioanderson38@gmail.com

Leonardo Martins
Metalurgical Engineering
UFF
Volta rednda, Brasil

Cristiane Xavier Resende
Material Engineering
UFS
Sergipe, Brasil
cristianexr@gmail.com

José Adilson de Castro
Metalurgical Engineering
UFF
Volta Redonda, Brasil
: joseadilsoncastro@id.uff.br
joseadilsoncastro@id.uff.br

Renata Antoun Simão
Metalurgical Engineering
UFRJ
Rio de Janeiro, Brasil
renata@metalmat.uffj.br

Gláucio Soares Fonseca
Metalurgical Engineering
UFF
Volta Redonda, Brasil
glaucio@metal.eeimvr

Abstract— *Foram desenvolvidas e sintetizadas esferas de quitosana pelo método da coagulação seguida pela liofilização controlada, seguida por secagem em estufa. A síntese ocorreu a partir de um gel de quitosana em ácido acético gotejado em solução de NaOH, seguida de tamponamento e processamento. As esferas obtidas foram caracterizadas por MEVEDS, espectroscopia Raman. Testes de degradação pelo método térmico e obtenção dos índices clássicos de degradação (intumescimento, degradação e perda de massa) foram realizados, além do teste de citotoxicidade. Os resultados mostraram que foi possível obter as esferas mantendo a natureza química da quitosana, não tóxicas e não degradadas significativamente pelo método térmico e de porcentagem esperada pelos índices ao longo do tempo. As esferas são biomateriais podendo ter outras aplicações como adsorvedoras e liberadoras de moléculas de superfície.*

Keywords— *chitosan, physical chemistry characterization, degradation, cytotoxicity*

I- INTRODUÇÃO

Inserido na vasta área dos biopolímeros, a quitosana é um material, com características tecnológicas e econômicas relevantes, possuindo propriedades biológicas adequadas como: biocompatibilidade, bioatividade e biodegradabilidade, além de ser atóxico e produzido por fontes naturais e renováveis. A biodegradabilidade é devido à metabolização da quitosana por algumas enzimas humanas, como por exemplo, a lisozima. Essa propriedade condiz com um dos requisitos primários de um processo de biodegradação, que é ser susceptível a uma reação de hidrólise enzimática [1]

A quitosana é inserida na literatura como um copolímero cuja estrutura é constituída por unidades de 2-acetamido-2- deoxi-

D-glicopiranosose e 2-amino-2-deoxi-D-glicopiranosose, unidas por ligações glicosídicas $\beta(1\rightarrow4)$. Este composto é encontrado como componente da parede celular de alguns fungos, mas é geralmente produzido pela desacetilação da quitina, um abundante polissacarídeo encontrado na carapaça de crustáceos, particularmente camarão e caranguejo como o que usou-se neste trabalho, a quitosana proveniente da Sigma. Devido às especiais propriedades físico-químicas e biológicas desse composto, a quitosana tem tido considerável aplicação na indústria de alimentos, agricultura, farmacêutica, médica e tratamento de águas residuais. Em uma das aplicações mais promissoras tem sido a de liberação controlada de fármaco pelo arcabouço de quitosana.

Atualmente, tais como micro e nanopartículas poliméricas e hidrogéis, que podem melhorar a efetividade do tratamento de doenças que requerem a administração de peptídeos e proteínas, bem como atuar como adsorvedores de substância presentes no meio ambiente e também como liberadores de moléculas ou fármacos para o meio, tendo uma ampla expectativa do emprego desses carreadores (scaffolds)

As micropartículas são constituídas, principalmente, por polímeros biodegradáveis, que geralmente não possuem problemas de toxicidade e dificuldade de eliminação do organismo. Uma variedade de polímeros biodegradáveis sintéticos e naturais tem sido estudada, incluindo poliésteres, polianidridos, polioctoésteres e polissacarídeos [2]

Entre esses, o copolímero biodegradável dos ácidos láctico e glicólico (PLGA), da classe dos poliésteres, além dos de quitosana que apresenta custo mais baratonjunto com os de (PLGA) tem sido o mais usado no desenvolvimento de nano e micropartículas para liberação prolongada de fármacos [3]

Na verdade a quitosana é um polímero biocompatível e biodegradável cujo mecanismo de degradação tem sido estudado por vários métodos dentre eles a degradação através dos índices com dados obtidos a partir de experimentos envolvendo pesagem em balança analítica de alta precisão antes e após o ensaios usando soluções simuladoras (do plasma sanguíneo (SBF), simulação de inflamação (acetato de potássio pH=5, dentre outras) por meio do índice de degradação, índice de intumescimento e perfil de perda de massa, além disso os dados são completados com ensaios de degradação térmica por meio da análise Química do TGA (análise termogravimétrica) clássico de avaliação da degradação em polímeros e citotoxicidade em células FOST. Visando obter, caracterizar e aplicar na adsorção e liberação controlada foi desenvolvido por meio de síntese e processo de liofilização, caracterização físico-química das esferas por MEV e Raman, avaliados a degradação e citotoxicidade *in vitro* das mesmas.

II- MATERIAL E MÉTODOS

2.1- Obtenção da quitosana: Para produzir as esferas de quitosana foi usado como reagente primário quitosana ultrapura obtida de carapaça de caranguejo (Sigma Aldrich®). Para a síntese com obtenção das esferas em géis foi utilizado o método da coagulação. Para o preparo da primeira solução de quitosana usa-se uma balança analítica a fim de fazer a correta pesagem de 0,125 g da quitosana dissolvida em 6,25mL de solução de ácido acético 2% sob agitação magnética constante até obter um gel homogêneo e livre de grânulos residuais. Estes géis foram estudados em função da sua reologia em Reômetro ARG2 da TA Instruments, com uso da geometria placa-placa, 25°C dos géis Inicialmente os géis foram submetidos a ensaios de amplitude de deformação. Para a solução de quitosana foram realizados varredura de frequência de 6,283 a 62,83 rad/s. Em seguida uma estrutura específica sequencial de seringas adaptadas foi usada até a adequada ejeção do gel sob uma solução de 5% de NaOH (1mol L^{-1}) sob agitação constante. As amostras de esferas em gel são neutralizadas em uma solução tampão e lavadas em água ultrapura obtida de um dispositivo milli-Q® e em seguida passam por uma sequência de tamises. Em seguida as amostras são submetidas ao processo de liofilização (Terroni, LT-1000) por 2 dias consecutivos, e após esse tempo, são retiradas das maminhas do liofilizador e estocadas em vidro de cor escura (âmbar), submetidas a secagem em estufa a 50°C por 5 dias consecutivos, e cobertas com parafilme. São conservadas em dessecador por tempo indeterminado. Toda caracterização físico-química foi feita previamente aos ensaios de modelagem propriamente dita. Todo o protocolo seguiu-se os trabalhos de Lima (2013) e Rezende (2013), entretanto até atingir o carreador esférico com estabilidade de forma e tamanho de longa duração diversas modificações foram feitas até o ajuste de parâmetro ideal de obtenção protocolar.

2.2- Caracterização físico-química das esferas de quitosana

As esferas foram caracterizadas por MEV (Microscopia eletrônica de Varredura) e espectroscopia Raman

2.2.1- Caracterização físico-química por Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi usada a fim de identificar possíveis poros, rugosidade de superfície e estrutura topográfica e possíveis concavidades de superfície que auxiliam na interação celular proporcionando maior biocompatibilidade, além de aumentar a área de superfície o que contribui para o maior aumento na área de contato superficial contribuindo assim para melhor interação com o meio externo. As esferas de quitosana foram metalizadas em um metalizador marca Emitech, modelo K550X, sob corrente de 50 mA por 180 s. O MEV apresenta detector de elétrons secundários (Jeol JSM – 5800 LV-UFF Volta Redonda). Os parâmetros de operação utilizados foram voltagem de 20 kV a 21.24kV e distância de trabalho de 14-15 mm. Foram capturadas micrografias em MEV em diferentes aumentos iniciando pela varredura tipográfica inicial da região contorno de toda a esfera em uma visão ampla para a partir dessas imagens definir as regiões de maior interesse e fazer as capturas em aumentos de 5000x, 2500x, 1500x e 500x.

2.2.2- Caracterização físico-química por Espectroscopia de Raman

Foi usado para análise um aparelho Raman marca Witec-focus innovations-modelo alpha300 (www.witec.de) cujo preparo envolveu “plain Si supplied by wit ec” operando em um comprimento de onda de 785nm de comprimento de onda e intensidade de laser máxima do tipo output, a objetiva usada para a observação da análise de aumento 100x NA0.95, o diâmetro de pinhole durante a operação foi de 100micrômetros em um tempo de integração usado de 50ms e grating de 600g\mm. O centro espectral de 950 rel 1\cm e filtro Raman do tipo Raman EdgeFilter com investigated line 1st order SiLine e medida de alto pico de 2000cts com tempo de integração usado para as esferas de quitosana de 1 segundo usando a metodologia de análise foi realizada pelo pontual das amostras.

2.3-Ensaio de Degradação

Degradação das esferas obtidas pelo experimental de degradação e aferição pelos índices de degradação (ID), grau de intumescimento (GI) e Perda de Massa, além da degradação Térmica obtida pela análise termogravimétrica de TGA.

No presente trabalho são apresentados os estudos de decomposições térmicas da quitosana e uma forma modificada desse polímero. Os experimentos foram realizados através da técnica de termogravimetria em atmosferas de ar e nitrogênio (TGA Instrument- SDT-modeloQ600). As taxas de aquecimento utilizadas foram de 10°C.min-1 no intervalo de 25 a 600°C. As análises cinéticas dos termogramas obtidos foram realizadas por meio de programas computacionais, que determinaram o tipo de mecanismo de degradação, bem como os parâmetros cinéticos tais como a ordem do processo, fator pré-exponencial e energia de ativação.

Inicialmente foi feita a pesagem das esferas de quitosana em balança analítica e a investigação em TGA a partir da amostra controle (tempo 0). O ensaio de degradação foi planejado a partir da inserção das amostras em uma solução simuladora de plasma sanguíneo (SBF) a uma temperatura de 36 graus Celsius em banho isotérmico aferido a constância dos parâmetros a partir de um termostato acoplado. A amostra foi colocada na solução a uma proporção de 1 grama para 10mL. Em seguida foram definidos tempos para aferição dos pesos em balança analítica e definição dos parâmetros de degradação aferidos por meio do índice de intumescimento (GI), índice de degradação e perda de massa, além da análise química da degradação aferidas pela análise termogravimétrica (TGA) e calorimetria exploratória diferencial (DSC) das amostras antes e após o ensaio. Estes tipos de ensaios de degradação podem ser realizados de maneira estática ou dinâmica (Bezerra, 2011). No presente estudo, o ensaio foi realizado sob condição estática com o uso da solução simuladora de plasma sanguíneo (SBF) tendo a condição extrema de degradação (solução de acetato de potássio com pH 5) como controle (Lima, 2011). Dessa maneira, 2 tipos de ensaios foram realizados: o da solução extrema (acetato); e o da solução simuladora de plasma sanguíneo (SBF).

No ensaio de degradação sob condição estática, o material utilizado é imerso nas soluções e analisado em 7, 24, 48, 96 e 168 horas (Lima, 2011), adaptado desse estudo, o material foi analisado no tempo 0 para obtenção de referência, e nos tempos 1, 2, 7, 14 e 21 dias para análise da degradação ao longo do tempo. As bases iniciais dos ensaios prévios ao protocolo definitivo usado foi baseado na Norma ISO10993-5.

A fim de se analisar os efeitos da degradação, é necessário a realização de várias medidas, vinculadas a técnicas de caracterização, que foram os parâmetros selecionados nos ensaios para aferir, comparar e medir os efeitos das diferentes soluções sobre a superfície, alteração de massa e sugerir pequenas alterações estruturais, como efeito das alterações intramoleculares. Como parâmetros de referência na avaliação da degradação usaremos a perda de massa obtida como parâmetro a balança analítica e os efeitos químicos sobre as esferas por meio da avaliação da perda de massa antes e após o ensaio (pela avaliação do TGA). A respeito dos parâmetros avaliados, selecionaremos: o índice de degradação (ID), grau de intumescimento (GI) e Perda de massa.

A Avaliação da degradação foi feita pelos índices de degradação e avaliação química por DSC e TGA. Os índices de degradação foram checados usando as fórmulas de índice de degradação (ID), índice de intumescimento (GI) e Perda de Massa. Além disso foi realizada o ensaio de análise termogravimétrica (TGA) e calorimetria diferencial (DSC) após cada tempo experimental do Ensaio de Degradação Estática indicando se o material se mantém ou não íntegro em condições fisiológicas em comparação com as condições extrema (acetato de potássio 5%)

3.- Ensaio de citotoxicidade das esferas de quitosana

As esferas foram ensaiadas a citotoxicidade por meio do uso do sobrenadante após o contato de 1 grama de amostra por 10mL de solução DMEM livre de soro fetal bovino (SFB) seguido de diluições seriadas. As esferas são incubadas por 24 horas em estufa de CO₂. Em seguida o sobrenadante é recolhido e levados por meio de diluição seriadas e acrescidos sobre as células em estado de subconfluência previamente plaqueadas em placas multiwell. Usou-se células de fibroblastos de camundongos balb-c3T3 obtido de da ATCC. Foram plaqueadas 24000 células em poços multiwell, incubadas por 24-48 horas e os extratos são acrescidos sobre as células quando estas estão em estágio de subconfluência. Após a incubação por 24 horas são avaliadas o padrão de citotoxicidade por 3 parâmetros clássicos de avaliação de viabilidade celular: atividade mitocondrial pela redução do azul de formazana (MTT).

1- Resultados e Conclusão

4.1- Microscopia Eletrônica de varredura (MEV)

A partir da caracterização por MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura) e ensaios prévios de liberação controlada no laboratório foi possível desenvolver o planejamento experimental e seleção dos modelos a ser usado.

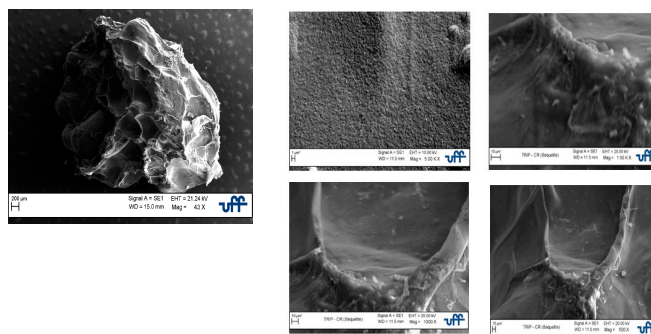
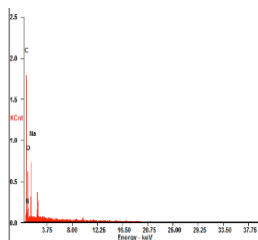


Figura 1: Imagens das esferas de quitosana obtidas após liofilização e secagem em estufa. (a) Imagem geral. (b) Detalhe da Figura 1(a), exibindo a presença de corrugações, contornos e irregularidades na superfície que representam a concavidade ou mesoporo do biomaterial. Na sequência de imagens à esquerda os respectivos aumentos de 5000x, 2500x, 1500x e 500x

A análise das amostras esféricas após liofilização mostrou uma topografia de superfície relativamente homogênea, apresentando alguns poros e concavidades de superfície. Na Figura 2 exhibe-se o registro de imagem no MEV de uma amostra esférica típica. Nesta, destacam-se o formato esferoidal e as corrugações que são contornos e irregularidades presente na superfície. Aspectos semelhantes foram vistos também por Lima *et al* (2004) em grânulos cerâmicos de zinco-hidroxiapatita. Além das esferas de quitosana obtidas por Silva *et al*, 2015 que embora não

submetidas ao processo de liofilização, também apresentaram o formato esférico e aspectos semelhantes embora apresentem esferas de menor tamanho em comparação com as obtidas no nosso trabalho. Na imagem do MEV vemos concavidades previamente medidas com diâmetro que varia de 283µm a 434-450µm e com composição obtida qualitativamente por EDS das esferas*.



Element	Wt%	At%
C K	58.17	65.57
N K	10.26	09.92
O K	22.98	19.45
Na K	08.59	05.06

*EDS das análises relativas ao MEV obtidas das esferas de quitosana

Figura 2: EDS obtida das esferas de quitosana

4.2- Espectroscopia Raman

Foi obtido o espectro Raman a partir do aparelho Witec-focus innovations

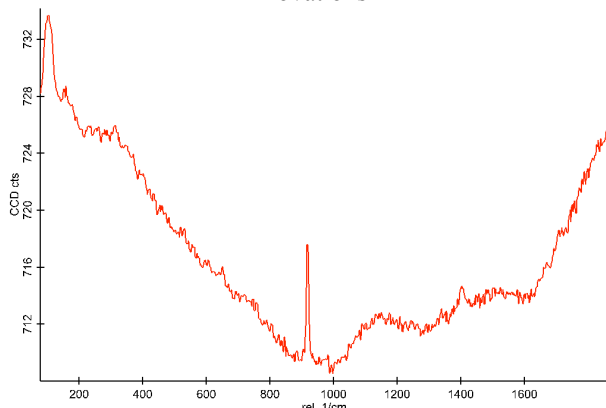


Figura 3: Espectroscopia Raman das esferas de quitosana após processamento e liofilização

Os espectros Raman das amostras de esferas de quitosana liofilizadas sem reticulantes e funcionalizadas estão representados na Figura . Observa-se que a quitosana apresenta um espectro Raman de bandas pouco intensas, com exceção da banda estreita entre 800 a 100cm⁻¹. O estiramento N=N do grupo aparece como uma banda média em 1481 cm⁻¹ também encontrada por Martins (2016).

4.3- Degradação das esferas de quitosana

4.3.1- Experimental de Degradação

4.3.1.1-- Análise térmica da degradação

Foi feita a análise termogravimétrica a partir da análise em TGA das esferas de quitosana em tempo 0 (zero), isto é, antes de serem conduzidas a ensaio de degradação que foi considerada como amostra controle.

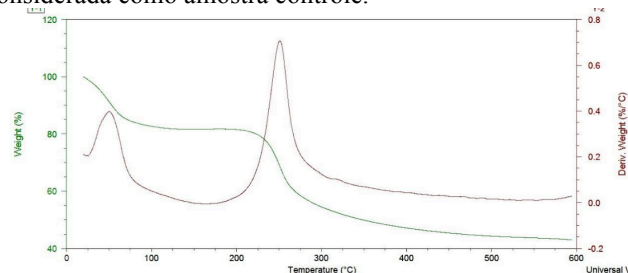


Figura 4 : Análise termogravimétrica por TGA (controle)

Após transcorrido o ensaio de degradação por mais 21 dias fez-se a análise termogravimétrica por TGA após 21 dias a fim de notar o efeito da degradação após o ensaio experimental conduzido em solução simuladora de plasma sanguíneo (SBF). A nova análise de TGA foi transcorrida outra análise nas mesmas condições anteriores do TGA

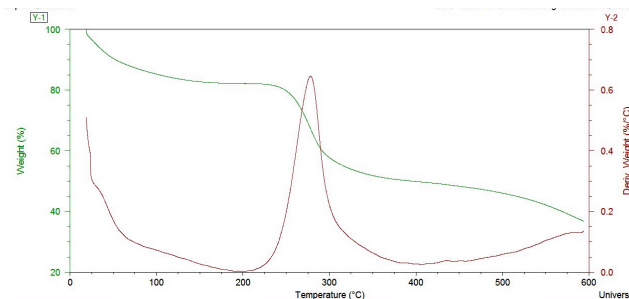


Figura 5: Análise termogravimétrica por TGA após 21 dias de ensaio de degradação em SBF (Simulador de Plasma Sanguíneo)

Verificou-se que no ensaio experimental de degradação em SBF não afetou a temperatura da faixa inicial da perda de massa (por volta de 85⁰C) e o perfil de degradação das amostras inicial e final permaneceram similar. Houve pequenas modificações no perfil da calorimetria diferencia (DSC) comparando as condições inicial e final. A perda total de massa ocorreu na faixa entre 40 e 85⁰C

4.3.1.2- Ensaio de Degradação das esferas de quitosana em Solução simuladora de Plasma sanguíneo (SBF)

4.3.1.2.1 -Índice de Intumescimento (GI)

O grau de intumescimento afere a capacidade da amostra intumescer, ou seja absorver fluido. Assim percebe-se que ao longo do tempo em pH fixo=7 em solução simuladora viu-se

que as esferas de quitosana são capazes de absorver líquido quer seja pelo mecanismo de difusão de fluido ou adsorção de moléculas na sua superfície.



Figura6:Gráfico de colunas mostrando o índice de intumescimento (GI) para os ensaios de degradação de esferas de quitosana em solução simuladora de plasma (SBF)

Nos tempos iniciais o intumescimento do material foi mínimo, e nos tempos finais do ensaio (7,14 e 21 dias o intumescimento atingiu porcentagens mais alta) o que sugere um efeito de osmose ou enfraquecimento das ligações da cadeia polimérica ao longo do tempo. Este ensaio foi intensamente estudado por Cavalcanti em 2004 [5].

4.3.1.2.2- Índice de Degradação (ID)

O índice de degradação mede a capacidade do sistema a partir da amostra em perder massa para o meio e, finalmente causar a degradação do material. No caso do biomaterial este fator é de extrema importância uma vez que o biomaterial sepultado no organismo humano deve exercer sua ação e sofrer hidrólise e degradação pelo organismo humano ao longo do tempo, para que finalmente possa substituído por tecido humano no lugar do defeito crítico. Assim o ID afere o efeito do meio sobre a perda percentual da massa da amostra.

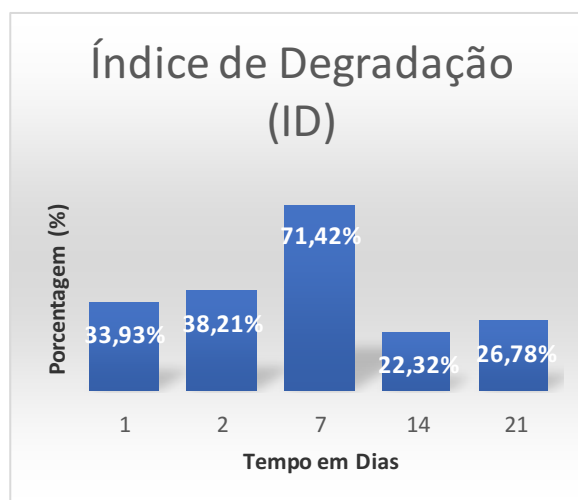


Figura 8: Gráfico de colunas mostrando o índice de Degradação (ID) para os ensaios de degradação de esferas de quitosana em solução simuladora de plasma (SBF) Nos ensaios foi possível verificar na Figura que a perda de massa máxima ocorreu aos 7 dias em SBF e mesmo sendo um meio biocompatível o material sofreu degradação e se degradou ao longo do tempo.

4.3.1.2.3- Perda de Massa

A perda de massa ocorre como perfil da porcentagem da quantidade da massa perdida ao longo do tempo. Representa-se por uma tendência linear esta perda de massa

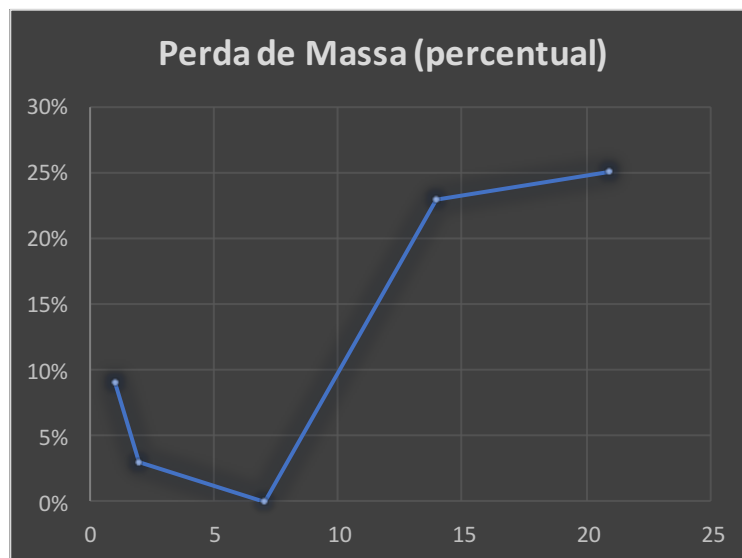


Figura 9: Representando a perda de massa em ensaio de Degradação de esferas de quitosana em solução simuladora de plasma sanguíneo ao longo do tempo em dias

Verifica-se que houve uma tendência descendente inicialmente de haver uma perda de massa inicial abrupta (10%) seguida de uma diminuição, entretanto a partir do dia 7 esta perda de massa ocorreu de maneira progressiva e ascendente tendo o seu ponto maior ocorrido ao longo de 21 dias de ensaio em solução simuladora de plasma sanguíneo (SBF) semelhante perfil foi estudado por Dambrós (2014) [6]

5- Citotoxicidade

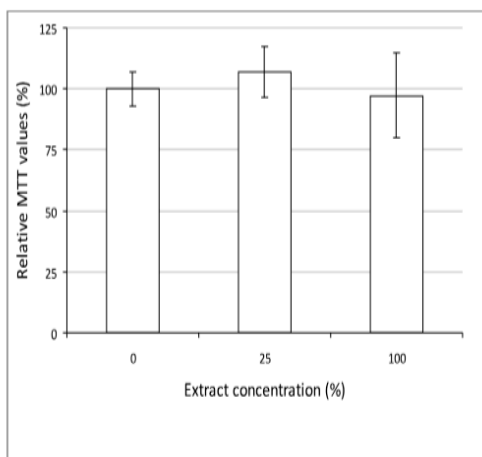


Gráfico em coluna representando o ensaio de citotoxicidade pelo método do MTT para as esferas liofilizadas e não reticuladas. As porcentagens representam o ensaio de contato indireto dos grânulos expostos em 24hs de DMEM [extrato puro (100%) e a concentração de 25% em comparação com o grupo controle (0%), demonstrando que para ambas as condições não houve citotoxicidade. As barras de erro representa IC de 95%.

No ensaio de citotoxicidade foi possível identificar que para as condições testadas do biomaterial diluído em meio de cultura DMEM sem soro fetal bovino comparada ao grupo controle (meio de cultura puro livre de soro fetal bovino) foi possível avaliar que não houve diferença estatística entre as condições de cada tipo de esferas quando comparadas entre si.

Todas as condições mostraram viabilidade celular em relação ao IC50, demonstrando que com este experimento foi possível prever que não houve citotoxicidade nas esferas de quitosana liofilizadas. De acordo com o gráfico disposto acima podemos verificar que não houve citotoxicidade em nenhuma condição de extrato (25%) e (100%) nas esferas liofilizadas sem adição de agente reticulante mostrando que esta esfera apresenta um potencial muito grande de futuro emprego como arcabouço celular para regeneração e reparo ósseo na Engenharia tecidual. Sabe-se que estudos similares também foram encontrados por (Júnior, 2007; Medeiros 2016) [7,8], entretanto este índice de citotoxicidade pode variar em função do uso ou não do reticulante. No nosso trabalho como

não usamos reticulante viu-se que o processo proposto para a obtenção das esferas de quitosana não afetou a não citotoxicidade da esfera de quitosana, sendo o arcabouço esférico considerado então como NÃO CITOTÓXICO.

Conclusão

A análise de degradação térmica mostrou não afetar a estrutura das esferas de quitosana. A análise obtida por espectroscopia Raman mostrou as bandas espectrais dos principais grupamentos químicos presente na quitosana. Não houve degradação significativa na análise Química por TGA entretanto houve um aumento da degradação ao longo do tempo por meio da checagem dos índices de degradação. A esfera de quitosana demonstrou ser não tóxica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço Ao Químico Bonifácio Fialho (PPGEM-UFF-Volta redonda por todas as etapas da pesquisa, ao Pesquisador William Querido Maciel CCS-UFRJ pela ajuda com os ensaios de citotoxicidade à COPPE-UFRJ pela ajuda com a análise Raman.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Dantas, M. J.L., Fideles, T.B., Carrodeguas, R. G., Fook, M. V. L., Obtenção e caracterização de esferas de quitosana/hidroxiapatita gerada in situ., Revista Eletrônica de Materiais e processos, v.11, n.1, pp 18-24, 2016 ISSN 1809-8797
- [2] Sinha VR, Trehan A. Biodegradable microspheres for protein delivery. J Control Release. 2003;90(3):261-80.
- [3] Mundargi RC, Babu VR, Rangaswamy V, Patel P, Aminabhavi TM. Nano/micro technologies for delivering macromolecular therapeutics using poly(d,l-lactide-co-glycolide) and its derivatives. J Control Release. 2008;125(3):193-209.
- [4] Martins, A. A., Fávère, V. T., Laranjeira, M. C. M., Mora, C., Caracterização por espectroscopia Raman da imobilização do agente quelante 8- hidroxiquinoleína e derivados no biopolímero quitosana. Congresso Brasileiro de Polímeros. Revista Química da Universidade Federal de Santa Catarina, 2016
- [5] Cavalcanti, O, A; Avaliação das propriedades de intumescimento e permeabilidade de filmes isolados de polimetacrilato contendo polissacarídeos da raiz de Lótus (*Nelumbo nucifera*), Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas, Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences, vol. 40, n.3, set, 2004
- [6] Dambrós, P, Kappelari, K.P., Poffo, C., Wisbeck, E. Revista Brasileira de Ciências Ambientais – Número 31 – Março de 2014
- [7] Júnior, 2007, tese de mestrado do programa de Pós-Graduação da Universidade do ceará para obtenção do mestrado, 2007
- [8] Medeiros, L. A. D. M., Barbosa, R. C., Rosendo, R. A., Esferas de quitosana/D. ambrosioides (mastruz) para aplicação em biomaterial. Revista Brasileira de Odontologia, v. 73, n.2, 2016, ISSN 1984-3747

Estudo para Caracterização de Propriedades Ópticas de Cobre e Seus Óxidos por Elipsometria

Glauco Silva de Assis Machado
Programa de Pós Graduação em
Engenharia Metalúrgica (PPGEM)
Universidade Federal Fluminense
Volta Redonda, Brasil
glaucomachado@id.uff.br

Cláudio Faria Lopes Junior
Programa de Pós Graduação em
Engenharia Metalúrgica (PPGEM)
Universidade Federal Fluminense
Volta Redonda, Brasil
claudiofaria@id.uff.br

José Augusto Oliveira Huguenin
Departamento de Física
Universidade Federal Fluminense
Volta Redonda-RJ, Brasil
jose_huguenin@id.uff.br

Ladário da Silva
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Metalúrgica (PPGEM)
Universidade Federal Fluminense
Volta Redonda-RJ, Brasil
ladariosilva@id.uff.br

Resumo— A caracterização de materiais é uma etapa importante para dar suporte às possíveis aplicações de um produto. Este trabalho propõe-se a realizar os estudos necessários para a caracterização de cobre e seus óxidos pela técnica de elipsometria. A técnica é muito sensível ao preparo da superfície e indireta. Desta forma o preparo e a composição da superfície interferem na modelagem, que propicia a obtenção das propriedades ópticas e dielétricas do material. Foi possível obter os parâmetros elipsométricos em função do comprimento de onda.

Palavras-chave — *Elipsometria, Cobre e seus óxidos, Propriedades ópticas.*

I. INTRODUÇÃO

O cobre, um metal de transição que apresenta particularidades como baixo custo, notável condutividade elétrica, natureza não-toxica e também por ter dois óxidos mais estáveis, óxido cuproso (Cu_2O) e óxido cúprico (CuO). Tais óxidos tem sido vastamente estudados por serem facilmente obtidos por vários processos como, oxidação térmica, spray pirólise, pulverização entre outros [1]. O interesse nesses óxidos ocorre também pelas possibilidades de usos diversos como em dispositivos de armazenamento e de geração de energia, componentes eletrônicos, células solares [2].

O seguinte trabalho tem como objetivo realizar estudos para caracterizar o cobre e seus filmes finos de óxidos fazendo uso da elipsometria espectroscópica. Tal técnica é capaz de obter dados sobre propriedades ópticas das amostras. A técnica usada por nós, incide um feixe de luz polarizada sobre a amostra e avalia a alteração da polarização na interação amostra-feixe. Por ser um método indireto se faz necessário o uso de modelos [3]. Os modelos utilizados no estudo inicial foram os modelos Drude e Lorentz. O modelo de Drude baseia-se nas propriedades de condução de elétrons, em que os elétrons ao percorrerem uma rede cristalina, não interagindo entre si, mas sim interagindo com íons positivos estáticos presentes nas redes, de forma a serem amortecidos por fricção resultante de colisões elétron-íon. O modelo Lorentz é utilizado para parametrizar funções dielétricas [4].

Para análise e possível caracterização de amostras de cobre utilizou-se de equipamentos como Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), e Microscópio Confocal (MC). O MEV foi utilizado sua função Espectroscopia de raios X por dispersão em energia (EDS) para identificar elementos químicos que constituem as amostras. O MC foi útil para visualizar topografia e medição de rugosidade.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

A. Material

O presente trabalho tem como material amostras de cobre, cortadas em forma de quadrado de lado igual a 20 mm e espessura de 2,5mm, sendo um total de quatro amostras, conforme a Fig. 1.

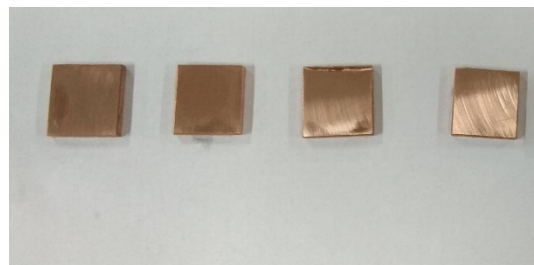


Fig. 1 Amostras de cobre do estudo.

B. Preparação de amostras

A partir de amostras de cobre sem qualquer preparo, inicia-se uma preparação que visa entregar um cobre livre de sujeiras e uma superfície com baixa rugosidade, o que torna possível obter dados sobre propriedades ópticas, as quais são sensíveis a estas variáveis. A preparação metalográfica seguindo a norma ASTM E3-95 [5], realizando etapas habituais de lixamento com uso de lixas metalográficas de carbeto de silício de granulometria de 120 mesh, 220 mesh, 320 mesh, 600 mesh, 800 mesh, 1200 mesh, 2000 mesh nesta sequência em uma politriz metalográfica da marca AROTEC do tipo Aropol S que usa água para refrigeração entre amostra e lixa. Entre uma lixa e outra rotaciona-se a amostra em 90° , iniciando da lixa mais grossa para a lixa mais fina sempre observando se as marcas das lixas anteriores foram retiradas pela lixa atual, após o lixamento a etapa de polimento. O

polimento que foi realizado foi do tipo mecânico com uso de politriz metalográfica, sendo esta a mesma utilizada no processo de lixamento apenas substituindo as lixas por uso de panos apropriados para serem usados junto ao abrasivo de diamante, uma para pasta de diamante de $3\mu\text{m}$ e outra para pasta de diamante de $1\mu\text{m}$, para o caso dos panos usa-se liquido refrigerante específico para não ferrosos[6].

C. Análise de superfície e rugosidade

A rugosidade tem influência sobre o comportamento óptico, de tal forma que deve ser mantida dentro de uma faixa apropriada, para ter seguridade quanto a esse valor, o uso de uma ferramenta como o microscópio confocal se justifica pois pode-se analisar topografia, o quanto a preparação deixou inclinação no plano da amostra [4]. O microscópio confocal utilizado no presente trabalho foi o Leica DCM 3D, localizado no Laboratório Multiusuários de Caracterização de Materiais do Instituto de Ciências Exatas – ICEX, situado na Universidade Federal Fluminense, ilustrado na Fig. 2. O método para obtenção do valor de rugosidade respeitou a norma DIN 4768 [7].



Fig. 2 Microscópio Confocal Leica DCM 3D.

D. Análise de EDS

Esta etapa é de suma importância, determinando os elementos químicos do material em estudo, seja ele o recebido, como o preparado. O resultado dessa análise orientará a modelagem elipsométrica. O microscópio utilizado é da marca FEI modelo QUANTA 3D FEG 450, situado no Laboratório do Centro de Pesquisa da Companhia Siderúrgica Nacional – CSN como mostra a Fig. 3.



Fig. 3 MEV com função EDS.

Os autores deste estudo agradecem à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) pela compra do Elipsômetro Espectroscópico SEMILAB GES 5S e do Microscópio Confocal Interferométrico LEICA DCM3D. Agradecemos também à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo financiamento com bolsas do segundo autor.

E. Medições no elipsômetro

As medidas foram realizadas no Elipsômetro Espectroscópico da marca SEMILAB do modelo GES 5S que está no Laboratório Multiusuários de Caracterização de Materiais do Instituto de Ciências Exatas – ICEX, situado na Universidade Federal Fluminense, conforme Fig.4. Este modelo possui polarizador rotativo e fonte de luz arco de xenônio. Escolheu-se o ângulo incidência de 75° afim de buscar intensidade alta no feixe refletido, ajustando o conjunto mesa-suporte até uma altura que maximiza esta intensidade. Obtido um valor de feixe refletido satisfatório segue-se para a medição das variáveis que são passíveis de coleta no elipsômetro. Dentre as variáveis possíveis que podemos obter usualmente se utiliza com maior frequência em conjunto $\tan(\Psi)$ pelo comprimento de onda, e $\cos(\Delta)$ pelo comprimento de onda. Este conjunto representam medidas características para cada material, que podem variar conforme as composição o tratamento térmico, processos de fabricação, etc [8].



Fig. 4 Elipsômetro Espectroscópico SEMILAB GES 5S.

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A. Caracterização por Microscopia Confocal

Os valores obtidos de rugosidade apresentados na Tabela I, estão conformidade para amostras proveniente de uma mesma peça de cobre. O parâmetro R_a foi o escolhido para avaliação da rugosidade das quatro amostras, por ser o mais difundido.

Tabela I. Rugosidade das amostras

Amostra	Rugosidade R_a (μm)	
	Média	Desvio Padrão
1	0,268	0,011
2	0,212	0,007
3	0,315	0,012
4	0,197	0,015

Outra forma de se analisar a rugosidade é graficamente como mostrado na Fig. 5 onde se analise o perfil da rugosidade em uma determinada faixa da amostra, neste caso na faixa central.

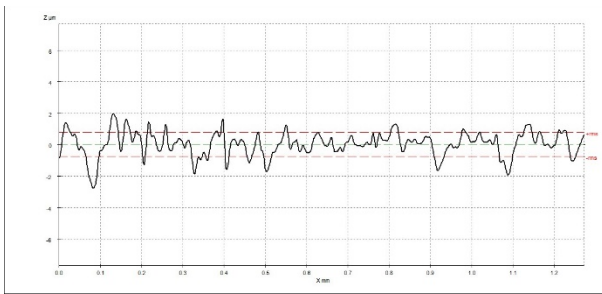


Fig. 5 Perfil de Rugosidade ao longo da linha central.

A topografia mostra que mesmo para preparos cuidados sempre é possível ter inclinações, formando plano da amostra com diferença de altura entre lados. Essa diferença também pode ser causa pelo porta amostra usado para medição. Na Fig. 6 podemos ver que a inclinação é muito pequena, o que assegura um bom preparo das amostras e o cuidado com medição no MC, já na Fig. 7 temos uma microscopia com ampliação de 10x.

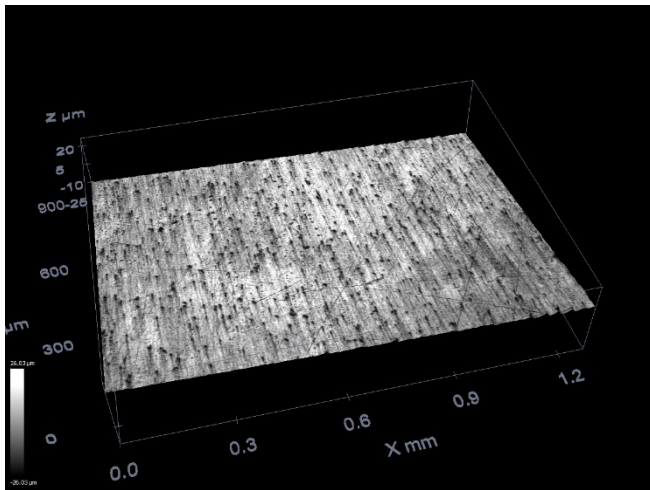


Fig. 6 Topografia da amostra de cobre.



Fig. 7 Micrografia da amostra de cobre com ampliação de 10x.

B. Análise no EDS

A Micrografia obtida no MEV, mostra a aparência microscópica do cobre em estudo numa ampliação de 2000x conforme Fig. 8.

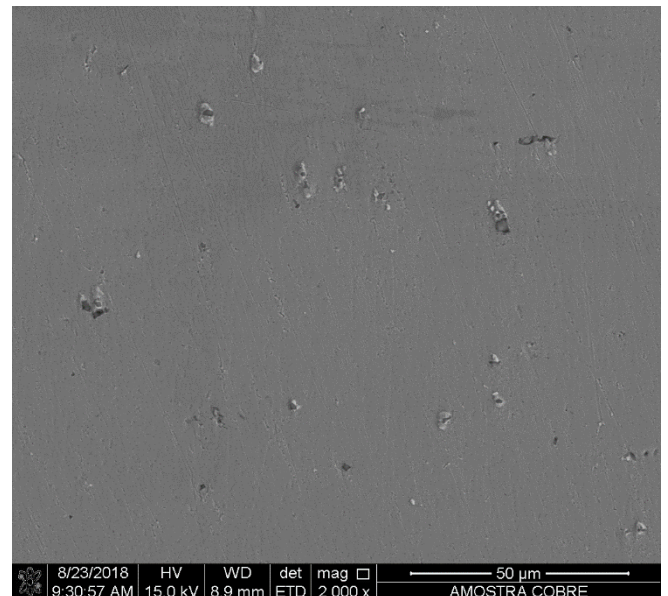


Fig. 8 Micrografia do MEV da amostra de cobre com ampliação de 2000x.

Dois regiões distintas estão presentes na Fig. 9, marcadas como ponto PT1 e ponto PT2.

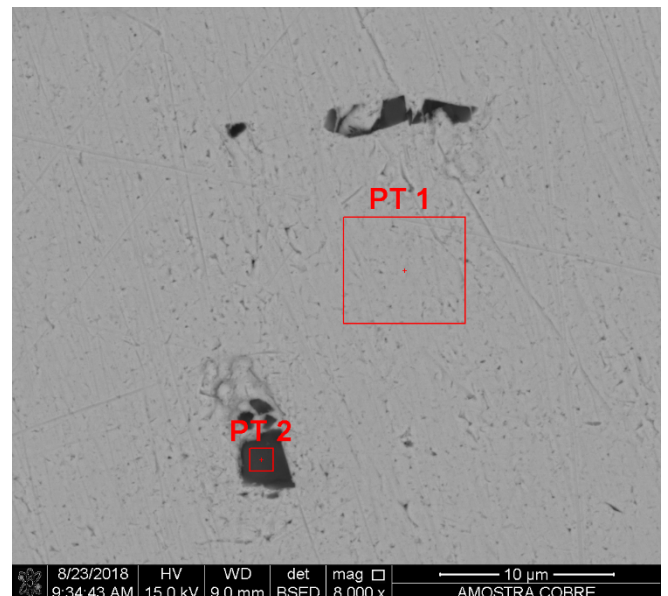


Fig. 9 Micrografia do MEV da amostra de cobre com ampliação de 8000x com pontos distintos PT1 e PT2.

Análise do ponto PT1 gera o espectrograma de dispersão de raios-X da Fig. 10.

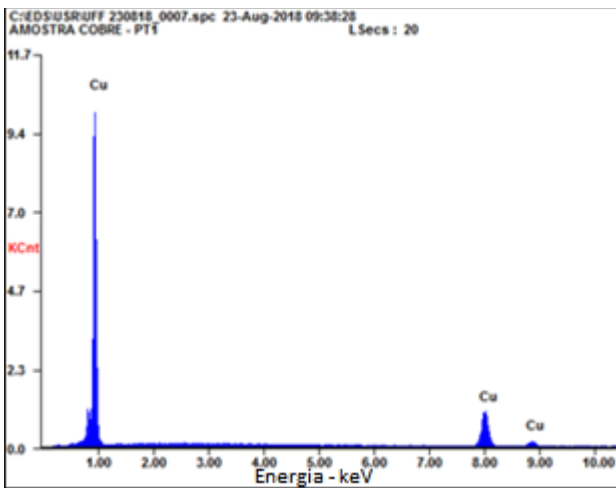


Fig. 10 Espectrograma do ponto PT1.

Análise do ponto PT2 gera o espectrograma de dispersão de raios-X da figura 11.

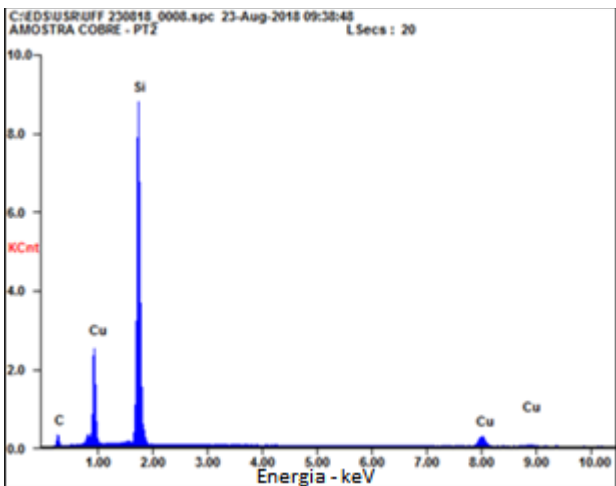


Fig. 11 Espectrograma do ponto PT2.

Assim fica claro que a amostra constitui majoritariamente de cobre com diminutas porções de silício provenientes da preparação metalográfica. Essa análise torna futuras análises mais seguras, facilitando a caracterização.

C. Caracterização no elipsômetro

Opta-se inicialmente por estudar um modelo que contenha três camadas. As camadas são a EMA, que é uma interface entre o ar ambiente e a camada com uma mistura de óxidos, imediatamente acima dessa. Essa segunda camada contém uma mistura de óxidos e está acima do substrato, que é composto de cobre.

A partir de pontos medidos pode-se plotar gráficos de $\tan(\Psi)$ e $\cos(\Delta)$ pelo comprimento de onda da luz incidente na amostra, mostrado nas Fig. 12 e Fig. 13. Em ambas figuras, usou-se 3 pontos de uma mesma amostra, que são os pontos pretos. Inicialmente estudou-se os resultados com os modelos de Drude e Lorentz. E chegou-se às curvas em cor azul que melhor ajusta os pontos de tal forma a descrever propriedades da amostra nas condições estudadas.

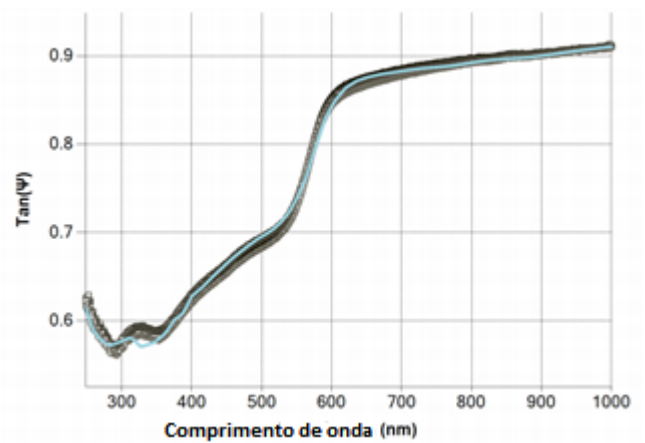


Fig. 12 Gráfico $\tan(\Psi)$ pelo comprimento de onda.

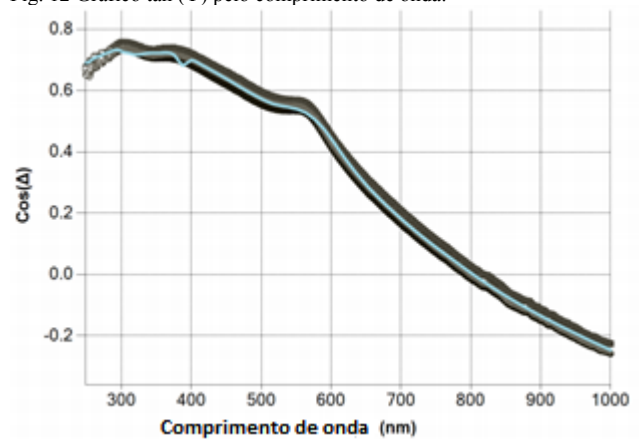


Fig. 13 Gráfico $\cos(\Delta)$ pelo comprimento de onda.

Para cada material é possível encontrar relações diferentes para essas variáveis, assim caracterizando e diferenciando os inúmeros tipos de materiais.

Para um metal puro já existem valores esperados para $\cos(\Delta)$, $\tan(\Psi)$. Já para a camada de rugosidade (EMA) e coeficientes das leis de dispersão, cada amostra terá as suas próprias devido a seu preparo e fatores como a rugosidade.

Com o uso de modelos matemáticos foi possível aproximar pontos diversos de uma mesma amostra para uma curva que melhor ajusta cada ponto de comprimento de onda. Após várias tentativas o melhor ajuste de curva foi de 99,7% e erro médio quadrático de 0,01322. Com este resultado iremos posteriormente obter o índice de refração (n) e o coeficiente de extinção (k) em função do comprimento de onda para a camada de óxidos. É preciso ainda analisar outros modelos.

Tais gráficos plotados permitem entendimento de características ópticas da amostra, mais especificamente de sua camada de óxidos, e podem ser utilizadas para a obtenção de constante dielétricas.

IV. CONCLUSÕES

Neste trabalho realizou-se estudos iniciais para a caracterização de amostras de cobre e seus óxidos por elipsometria. O uso do Microscópio Eletrônica de Varredura com recurso de EDS mostrou que a amostra é realmente de cobre, o que se comprovado na Elipsometria Espectroscópica onde se pôde obter ajuste de curva muito elevado partindo da

premissa que o material em estudo tinha como substrato o cobre.

Como possibilidade de estudos futuros pode-se ter a intenção de caracterizar os óxidos de cobre em forma de filmes finos medidos suas características ópticas.

REFERÊNCIAS

- [1] T. Kosugi and S. Kaneko, "Novel spray-pyrolysis deposition of cuprous oxide thin films," *J. Am. Ceram. Soc.*, vol. 81, no. 12, pp. 3117–3124, 1998.
- [2] P. Victor and C. Vieira, "Deposição e caracterização de filmes de óxidos de cobre por spray pirólise," M.S. Thesis, CCET, UFS, São Cristóvão, BR, 2014.
- [3] D. V. Likhachev, N. Malkova, and L. Poslavsky, "Modified Tauc-Lorentz dispersion model leading to a more accurate representation of absorption features below the bandgap," *Thin Solid Films*, vol. 589, pp. 844–851, Aug. 2015.
- [4] C. G. Gonçalves de Azevedo, "Caracterização óptica e eletrônica de filmes semicondutores usando espectros de transmitância e refletância," M.S Thesis, POSMAT, UNESP, Bauru, BR, 2015.
- [5] An American National Standard, "ASTM E3-95: Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens," 1995.
- [6] P. B. Johnson and R. W. Christy, "Optical constants of the noble metals," *Phys. Rev. B*, vol. 6, no. 12, pp. 4370–4379, 1972.
- [7] Norma DIN 4768, "Determination of values of surface roughness parameters Ra, Rz, Rmax, using electrical contact (stylus) instruments," 1995.
- [8] D. Gonçalves and E. A. Irene, "Fundamentals and applications of spectroscopic ellipsometry," *Quim. Nov.*, vol. 25, no. 5, pp. 794–800, 2002.

Alocação de Filtro Passivo na Rede Elétrica do CEFET/RJ campus Angra dos Reis

Sergio Cabral Estevam da Silva
Centro Federal de Educação
Tecnológica Celso Suckow da Fonseca
Campus Angra dos Reis (CEFET-RJ)
Angra dos Reis, Brasil
sergioestevam.pbi@gmail.com

Ezequiel da Silva Oliveira
Coordenação de Engenharia Elétrica
Centro Federal de Educação
Tecnológica Celso Suckow da Fonseca
Campus Angra dos Reis (CEFET-RJ)
Angra dos Reis, Brasil
ezequiel.oliveira@cefet-rj.br

Luís Fernando dos Santos
Coordenação de disciplinas básicas e
gerais
Centro Federal de Educação
Tecnológica Celso Suckow da Fonseca
Campus Angra dos Reis (CEFET-RJ)
Angra dos Reis, Brasil
lfcefet@gmail.com

Abstract— *The electrical energy is very important to development of society, therefore the its quality is necessary to keep the operation of electrical system. This paper has aim presented the study of the use of harmonic filters at CEFET-RJ campus Angra dos Reis to improvement of the electric system and the electrical energy quality.*

Keywords—*Harmonic, electrical energy quality, passive filter*

I. INTRODUÇÃO

Energia elétrica é de suma importância para toda a sociedade e substancial para o desenvolvimento de um país, sendo seu consumo atrelado à economia de um país. Em termos de geração, no Brasil predominam as hidrelétricas, seguidas das termelétricas, correspondendo à 62% e 28%, respectivamente. Sendo as demais fontes, tais como usinas eólicas, Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), e a energia proveniente da importação de outros países totalizam os 10% da geração[1].

O Sistema Elétrico de Potência (SEP) brasileiro, se divide, de forma geral, em: geração, transmissão e distribuição. Uma particularidade do sistema é a interligação em quase toda extensão nacional, sendo denominado Sistema Interligado Nacional (SIN), portanto, o fornecimento de energia tem de ser assegurado necessitando de um SEP que seja robusto e confiável e que a energia elétrica transportada seja de qualidade.

Devido à diversidade de carga que se tem conectado ao SIN, o sinal resultante da tensão e corrente acaba sendo alterado e afetando a qualidade de energia. A distorção nestas grandezas elétricas é denominada de distorção de harmônica total (DHT, ou *Total Harmonic Distortion* THD em inglês). Dessa forma, ações que mitigam esta alteração devem ser adotadas para que o SIN não seja colocado em risco, sendo estabelecidas normas, por exemplo a IEEE 519 – 2014, que limitam um percentual máximo de distorções numa instalação elétrica.

Há métodos distintos para garantir ou melhorar a qualidade de energia, reduzindo a DHT presente no sistema elétrico, porém, neste trabalho é feito uma breve apresentação dos filtros ativos e passivos para que no final seja indicado o tipo de filtro que atenderá da melhor forma o estudo proposto.

A fim de manter a qualidade da energia da instituição de ensino CEFET/RJ campus Angra dos Reis, baseado nos princípios de qualidade de produto (relacionado à continuidade do regime de tensão, e apartado de perturbações), qualidade do serviço (manutenção e atualização) e a qualidade do atendimento ao consumidor,

este trabalho visa apresentar uma investigação sobre a possível estratégia a ser adotada pela instituição para assegurar o atendimento do limite do DHT.

II. CARGAS QUE AFETAM A QUALIDADE DA ENERGIA.

Cargas são equipamentos consumidores de corrente elétrica que se dividem em cargas lineares ou resistivas, e as cargas não-lineares, compostas por semicondutores como diodos, transistores, chaves seccionadoras, onde pode-se verificar a maioria dos equipamentos eletrônicos e equipamentos que possui núcleo ferromagnético e que esteja operando na saturação.

A corrente fundamental é senoidal e à 50 ou 60 Hz, quando passa por uma carga não-linear, sofre distorção de harmônicas, que são correntes senoidais com uma amplitude menor que a fundamental, mas com uma frequência que é múltipla da fundamental e que define a ordem da harmônica.

A distorção de harmônicas é um fenômeno associado à deformação na forma de onda da (tensão ou corrente) em relação à onda senoidal da frequência fundamental, conforme a equação (1) que representa o cálculo do DHT para tensão. A composição de distorções harmônicas expõe o grau de desvio da forma de onda em relação à forma padrão.

$$DHT_{V\%} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \cdot 100 \quad (1)$$

Em termos de cálculos, compreende-se o espectro harmônico de frequências desde a fundamental até no mínimo a 25ª ordem harmônica. Em relação à componente de sequência positiva, negativa e zero, os harmônicos ímpares até 13ª ordem apresentam sua classificação conforme [4]:

- Harmônicas H7 - H13 - ...: sequência positiva.
- Harmônicas H5 - H11 - ...: sequência negativa.
- Harmônicas H3 - H9 - ...: sequência zero.

A. Características da Carga Local

Diante do estudo dos tipos de cargas encontradas no CEFET-RJ campus Angra dos Reis, é possível afirmar que existem na mesma, cargas não-lineares produtoras de harmônicos para a rede, e dentre elas destacam-se:

- Lâmpadas fluorescentes com reator eletrônico;
- Microcomputadores;
- Forno de micro-ondas;
- Nobreaks;

Sendo que lâmpadas fluorescentes com reator eletrônico, geram distorções harmônicas de 3ª à 9ª ordem [11], microcomputadores também geram harmônicas de 3ª à 9ª ordem [9], Nobreaks geram harmônicas de 3ª à 7ª ordem [10], já fornos de micro-ondas geram harmônicas de 5ª a 13ª ordem [9].

Dessa forma, pode-se averiguar que as cargas não lineares que compõem a rede da instituição vão da 3ª até a 13ª ordem de distorção, indicando até onde se deve ir para filtrar estas harmônicas.

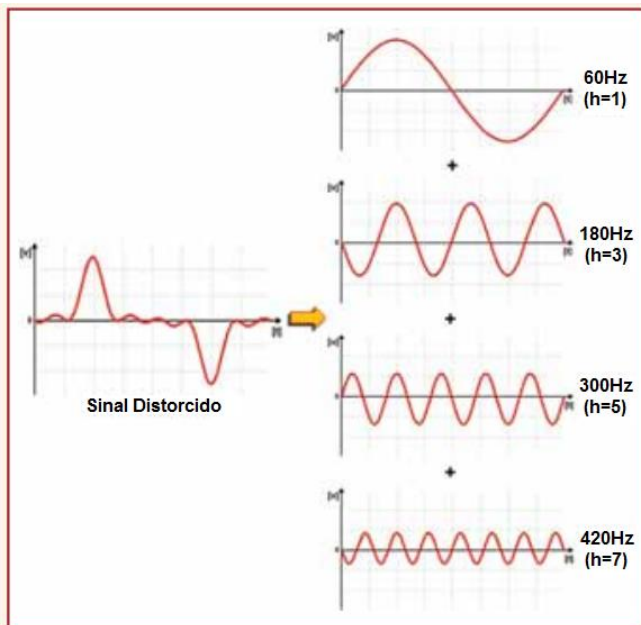
III. MÉTODOS PARA A MITIGAÇÃO DE HARMÔNICOS

Considerando um sinal distorcido, o mesmo pode ser decomposto numa soma de senos e cossenos, utilizando para isso a série de Fourier, de acordo com a equação (2), no qual este demonstra a quantificação do grau de distorção da mesma pela análise das funções senoidais com a frequência múltipla em relação à função senoidal fundamental. A principal vantagem do método, é que pode-se analisar separadamente cada componente harmônica, pois a distorção total é a superposição das várias componentes do sinal.

$$f(\omega t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \sin(n\omega t) + b_n \cos(n\omega t)] \quad (2)$$

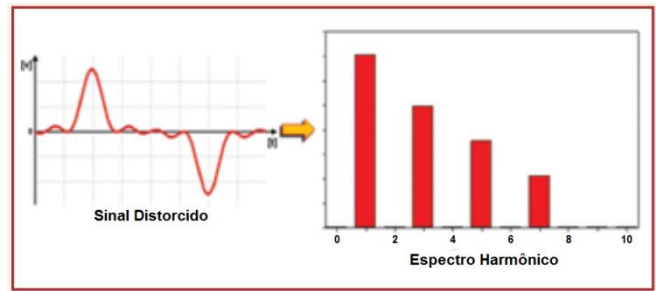
Nas ilustrações a seguir, é possível visualizar os sinais distintos e o espectro harmônico, em que se pode identificar a componente fundamental e as componentes harmônicas de ordem 3, 5 e 7 do sinal de tensão. [5]

FIGURA I - SINAL DISTORCIDO E OS SINAIS DECOMPOSTOS DE CADA HARMÔNICA



Fonte: [5]

FIGURA II - SINAL DISTORCIDO E O ESPECTRO DA FREQUÊNCIA DE CADA HARMÔNICA



Fonte: [5]

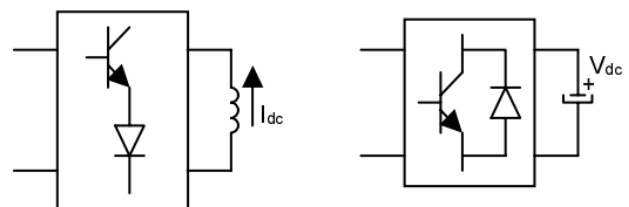
Na prática, para retirar estes harmônicos da rede, é necessário o uso de filtro, que por definição, são circuitos projetados para permitir e/ou restringir a passagem de frequência. Existem dois tipos de filtro, os ativos e os passivos.

A. Filtro Ativo

Os filtros ativos são construídos com elementos não lineares, tais como: válvulas, transistores, amplificadores operacionais, que são denominados ativos, pois têm a capacidade de alterar a forma do sinal aplicado a ele.

O principal elemento de um filtro ativo é o conversor para assumir o comportamento não linear, sendo que este pode ser CSI (com fonte de corrente) ou VSI (com fonte de tensão), como segue:

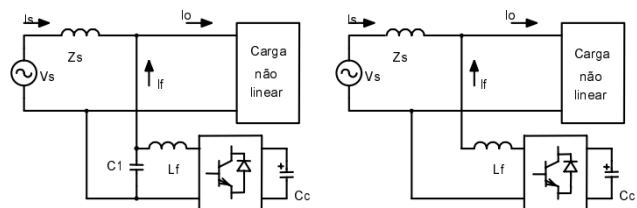
FIGURA III - INVERSOR CSI E VSI CONSECUTIVAMENTE



Fonte: [12]

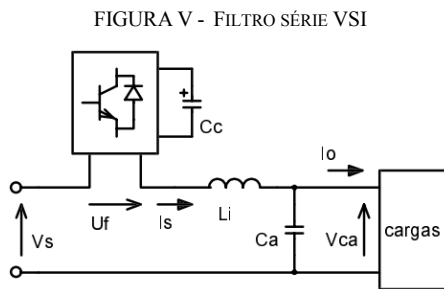
Além disso, o filtro ativo pode ter características série e paralelo com a carga, sendo que a conexão em paralelo apresenta um indutor em série com o conversor, sendo facultativo o uso do capacitor (C1), conforme ilustrado pela Figura IV.

FIGURA IV - FILTROS PARALELOS VSI (COM E SEM CAPACITOR DE FILTRAGEM)



Fonte: [12]

Já o filtro em série também contém um indutor em série com o conversor e um capacitor em paralelo com a carga, assim como segue:



Fonte: [12]

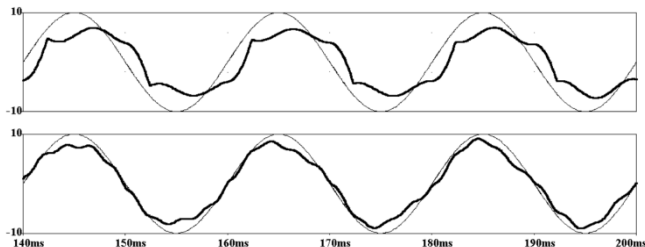
Uma das dificuldades na implementação deste filtro consiste na elaboração de uma malha de controle a fim de operar o conversor utilizado.

B. Filtro Passivo

Os filtros passivos são construídos somente com elementos passivos, que são: resistores, capacitores e indutores. É composto de várias células LC (indutor e capacitor) em série, que são sintonizadas nas frequências que se deseja eliminar.

A Figura VI ilustra um sistema que possui cargas não lineares e que geram harmônicos, resultando num sinal distorcido, cujo comportamento se assemelha a de uma onda quadrada. Após inserir o filtro passivo de terceira ordem reduz-se a distorção, conforme ilustra a figura da parte superior. Quando se insere os filtros passivos de quinta e sétima ordem, além de um capacitor para correção do fator de potência, obtém-se o resultado mostrado na parte inferior da mesma figura, na qual se percebe uma melhora considerada no sinal, em comparação com a fundamental. Caso fosse um sinal de uma grandeza elétrica (tensão ou corrente), a inserção deste filtro garante uma melhora na qualidade da energia elétrica.

FIGURA VI - SINAL DISTRÓCIDO POR HARMÔNICAS E SINAL FILTRADO POR UM FILTRO PASSIVO DE HARMÔNICA



Fonte: [7]

Os filtros passivos são considerados de mais fácil construção e com custos mais baixos, o que os tornam mais comuns, oferecem características como robustez, alta confiabilidade, insensibilidade a surtos e operação silenciosa. A principal vantagem, é a não-presença de

elementos ativos, sendo estes, elementos causadores de harmônicos.

Os esquemas existentes para este tipo de filtro são: o tipo série e o paralelo (*shunt*), sendo o *shunt* o mais utilizado.

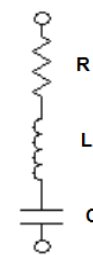
1) Filtro Passivo tipo Série

O tipo série funciona filtrando as frequências indesejadas, impedindo a passagem para um determinado equipamento ou evitando sua propagação na rede elétrica. Pela forma como é instalado, submete-se a passagem de toda a corrente do circuito, fato que provoca o encarecimento dos seus componentes e produz, como efeito indesejado, uma queda de tensão, impactando negativamente no nível de tensão que chega na carga.

2) Filtro Passivo tipo Shunt

O filtro harmônico *shunt* promove o desvio das correntes harmônicas do sistema para o sistema de aterramento, proporcionando uma melhoria na qualidade da energia elétrica dos circuitos de carga. Seu princípio de funcionamento submete apenas a passagem das correntes harmônicas projetadas, viabilizando sua implantação.

FIGURA VI - FILTRO PASSIVO DE HARMÔNICA (TIPO SHUNT).



Fonte: [8]

Este filtro é considerado um filtro passa-faixa, o qual só permite a passagem de frequências em uma faixa estipulada, sendo que, os componentes deste modelo são calculados com base na frequência do harmônico que se deseja filtrar.

IV. APLICAÇÃO DO FILTRO PASSIVO NA REDE ELÉTRICA DO CEFET-RJ

Com base nas cargas presentes na instituição e nos estudos dos métodos de mitigação das distorções resultantes, é verificado que a aplicação de filtros passivos de harmônicos na rede da instituição possui viabilidade técnica, pois é possível observar que anteriormente na distinção de cargas não lineares da instituição, suas características das se adequam à utilização do filtro passivo tipo. Porém a forma de sua instalação deve ser definida através de estudos mais detalhados, sendo possível a instalação do filtro de forma: pontual, onde o mesmo é instalado diretamente na carga não linear; nos circuitos terminais, através do agrupamento de carga; ou própria subestação em que é realizada a conexão com a rede de distribuição.

V. CONCLUSÃO

Diante da atual situação da instituição, em que foram listados o uso de cargas não lineares, o desenvolvimento e a aplicação de filtros harmônicos passivos tipo *shunt*, pode resultar em benefícios para o CEFET-RJ, visto que uma das consequências causadas pela é o aquecimento dos condutores proveniente do aumento da corrente, visto que a corrente resultante é composta pela corrente da frequência fundamental somada às harmônicas provenientes da distorção, limitando assim a capacidade de conexão de carga à instalação elétrica existente.

Além disto, a inserção do filtro passivo garantirá uma melhora na energia elétrica do *campus* e contribuirá para a adequada operação do SEP, pois contribuirá para a redução da distorção harmônica total, e a compensação reativa na frequência fundamental. De forma que este projeto piloto proporcione um aumento do conhecimento para alunos envolvidos, além de alcançar o objetivo principal que está associado à qualidade da energia elétrica, podendo causar redução do gasto de energia.

REFERÊNCIAS

- [1] ANEEL. Saiba mais sobre o setor elétrico brasileiro. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/home?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_returnToFullPageURL=%2F&_101_assetEntryId=14476909&_101_type=content&_101_groupId=654800&_101_urlTitle=faq&inheritRedirect=true>. Acesso em: 24 ago. 2018.
- [2] RD,S. Qualidade na Distribuição. ANEEL, 2016. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/qualidade-na-distribuicao>>. Acesso em: 24 ago. 2018.
- [3] CEPEL. Qualidade de Energia Elétrica, 2017. Disponível em: <<http://www.cepel.br/linhas-de-pesquisa/menu/qualidade-de-energia-eletrica.htm>>. Acesso em: 24 ago. 2018.
- [4] SCHNEIDER. Eliminação de harmônicas em instalações. 2015. Disponível em: <http://www.apc.com/salestools/LARD-8K6K8S/LARD-8K6K8S_R2_PT.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2018.
- [5] PAULILO, G. Qualidade de energia – Harmônicos. O setor elétrico, 2013. Disponível em: <http://www.osestoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2013/03/Ed85_fasciculo_qualidade_cap2.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2018.
- [6] SILVA, C. Filtros Ativos. Clube da Eletrônica, 2007. Disponível em: <<http://www.clubedaeletronica.com.br/Eletronica/PDF/Amp-OP%20IV%20-%20filtros.pdf>>. Acesso em: 25 ago. 2018.
- [7] POMILIO, J. A. Soluções Passivas. Dsce.fee.unicamp, 1997. Disponível em: <<http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/htmlfile/harmo/fpCAP5/cap5.html>>. Acesso em: 25 ago. 2018.
- [8] OLIVEIRA, W. J. N. Dissertação de mestrado. Repositorio.ufrn, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/20366/1/WagnerJoseNascimentoDeOliveira_DISSERT.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2018.
- [9] CORREIA, P. J. F. O impacto dos problemas de qualidade de energia em instalações elétricas. Universidade de Coimbra, 2007. Disponível em: <http://www.estgv.ipv.pt/PaginasPessoais/paulocorreia/index_ficheiros/investiga%C3%A7%C3%A3o_ficheiros/harmonicas.pdf>. Acesso em: 07 set. 2018.
- [10] ALMEIDA, L. R. Modelagem análise de desempenho. Repositorio.UFU, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/17964/3/ModelagemAn%C3%A1liseDesempenho.pdf>>. Acesso em: 07 set. 2018.
- [11] GONZALES, M. L. Distorções Harmônicas Geradas por Algumas Cargas Não lineares com Tensões Senoidais. Swge.inf, 2012. Disponível em: <<http://www.swge.inf.br/anais/sbse2012/PDFS/ARTIGOS/96931.PDF>>. Acesso em: 07 set. 2018.
- [12] RIBEIRO, R. R. Filtros ativos série para a compensação de harmônicas de tensão. Repositório. UFSC, 2003. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/85123/194129.pdf?sequence=>>>. Acesso em: 07 set. 2018.

Avaliação do efeito térmico na compressão de concreto produzido com a incorporação de resíduo agroindustrial

Luiz Felipe Lima Panizzi
Curso de Engenharia Química
Universidade de Vassouras
Vassouras, Brasil
lfpanizzi@gmail.com

Jonas dos Santos Pacheco
Curso de engenharia civil
Universidade de Vassouras
Vassouras, Brasil, RJ
pachecojonas@yahoo.com.br

Cristiane de Souza Siqueira Pereira
Pró-Reitoria de Pós-Graduação e
Pesquisa
Universidade de Vassouras
Vassouras, Brasil, RJ
crispereirauss@gmail.com

Ana Paula de Carvalho Faria
Curso de Engenharia Qupimica
Universidade de Vassouras
Vassouras, Brasil, RJ
anapaula.carvalhofaria@gmail.com

Manoela Silva Lima Mariotini Carotta
Curso de Engenharia Qupimica
Universidade de Vassouras
Vassouras, Brasil, RJ
manumariotini@gmail.com

Resumo: A geração de resíduos na área industrial ocasiona grandes impactos ambientais. Assim, se faz necessário a busca por alternativas viáveis para redução e reutilização desses resíduos. A indústria de produção de azeite e azeitona de mesa gera aproximadamente 123.500 kg/mês de caroço, em seu processo de descaroçamento, sendo 40% reaproveitado como queima na caldeira e 60% descartado no meio ambiente. Deste modo, surge a necessidade da completa reutilização desse resíduo, e dentre as tecnologias existentes destaca-se a sua incorporação na produção de materiais de construção. O concreto é composto por diferentes materiais que podem reagir de diferentes formas sob a ação da temperatura. Desta forma torna-se imprescindível avaliar os efeitos que a elevação da temperatura provoca no concreto. Foram analisados os efeitos da elevação da temperatura em corpos de prova cilíndricos armazenados por um período de 70 dias (produzidos com a incorporação de 15% do caroço de azeitona) e corpos de prova armazenados por um período de 15 dias (produzidos com a incorporação de 5% do caroço de azeitona). Os resultados foram comparados com análises dos corpos de prova submetidos à compressão sem a ação da temperatura, em que apresentaram resistência a compressão de 12-15 MPa. Os resultados da resistência a compressão foram 2,25 ±0,36 MPa e 2,17 ±0,31 MPa para os corpos de prova de concreto armazenados durante 70 e 15 dias, respectivamente. Os resultados foram comparados com análises dos corpos de prova submetidos à compressão sem a ação da temperatura, em que apresentaram resistência a compressão de 12-15 MPa. Diante dos resultados observa-se uma diminuição de aproximadamente 81-85% na resistência do concreto após o efeito da temperatura. Em comparação ao tempo (70 e 15 dias) e a % de incorporação (5 e 15%) os resultados não apresentaram diferenças significativas, evidenciando somente a ação da temperatura sobre os corpos de prova analisados. Os concretos submetidos à ação da temperatura perderam consideravelmente sua resistência, abaixo dos níveis desejados pela legislação.

Palavras-Chaves: construção civil, caroço de azeitona, temperatura.

I. INTRODUÇÃO

A geração de resíduos industriais é um problema que origina grandes preocupações em relação ao meio ambiente.

O descuido com o descarte destes resíduos cria obstáculos para o desenvolvimento sustentável de uma nação. Por outro lado, a construção civil, que é um dos principais segmentos no desenvolvimento da economia brasileira, consome 75% de todos os recursos extraídos da natureza.

Segundo informações obtidas por [1] a indústria de produção de azeite e azeitona de mesa gera aproximadamente 19 mil kg/dia de azeitonas inteiras e 5 mil kg/dia de resíduo, em seu processo de descaroçamento, sendo 40% reaproveitado como queima na caldeira e 60% descartado no meio ambiente

Sendo assim, a incorporação do resíduo do caroço de azeitona na produção de concreto pode minimizar os problemas descritos, diminuindo os impactos causados pela extração e pelo descarte incorreto.

De acordo com [1] o caroço de azeitona é constituído por células lignificadas mais ou menos comprimidas e de parede celular espessa que formam uma capa que envolve células parenquimatosas de parede celular fina. Sendo um material muito duro e difícil de ser triturado pelas formas normais, fazendo então que seja usado um moinho de facas para que o resíduo se torne partículas pequenas. Constitui-se de 16,23% de lignina, 21,69% de celulose, 41,89% holocelulose e 20,19% de celulose [2].

A incorporação do resíduo de azeitona na composição do concreto foi realizada por [3], utilizando 5 e 10% de resíduo adicionado a areia, apresentando resultados positivos. Desta forma, se faz necessária a continuidade desta linha de pesquisa visando uma análise mais complexa das competências deste tipo de concreto.

A capacidade em que os materiais possuem de suportar a incêndios é de suma importância. No Brasil, particularmente em São Paulo, presenciaram-se na década de 1970 dois grandes incêndios que marcaram a população. Em 1972, o incêndio do edifício Andraus de 31 andares, resultou em 16 mortes e 336 feridos. Apenas dois anos após, em 1974, o edifício Joelma de 23 andares, deixou 320 feridos e 179 mortos. De acordo com [10] nenhum destes edifícios possuía escada de segurança.

Recentemente, ocorreu em São Paulo, o desabamento do prédio de 24 andares, Wilton Paes Almeida. O prédio que deveria suportar no mínimo 3 horas antes de ceder desabou em menos de 90 minutos. Especialistas da área concluíram que o desabamento se deu por conta da estrutura mista de concreto e aço, apresentando partes estruturais apenas de aço, menos resistente ao calor.

O concreto é constituído por água, cimento, agregado graúdo (brita ou pedra), agregado miúdo (areia), podendo conter adições (pozolana, sílica ativa e etc.) e aditivos químicos procurando alterar suas propriedades básicas. Estes diferentes constituintes não reagem da mesma forma diante das altas temperaturas, o que torna o efeito do fogo um grave problema.

Conforme descrito por [11] o incêndio tem 3 estágios: ignição, aquecimento e resfriamento. São descritos a seguir, cada estágio considerando o aumento da temperatura em função do tempo.

- **Ignição:** representa o início da inflamação, com crescimento gradual de temperatura, sem risco à vida humana ou ao patrimônio por colapso estrutural. Através de medidas de proteção eficientes o fogo pode ser extinto rapidamente. Este estágio termina na inflamação generalizada (*flashover*).
- **Aquecimento:** neste estágio todo o material combustível entra em combustão e a temperatura dos gases quentes são superiores a 300°C, com crescimento de temperatura veloz.
- **Resfriamento:** região que representa a extinção do material combustível e redução gradual de temperatura.

Segundo [4] os principais fatores que podem levar uma estrutura exposta a altas temperaturas ao colapso são o tempo de exposição, a temperatura atingida, o traço de concreto, o tipo de estrutura, o elemento estrutural e a velocidade de resfriamento.

O concreto tem boas características quando se trata de resistência ao fogo segundo [12]. Isto se descreve ao constatar o tempo que suporta quando exposto ao fogo com desempenho satisfatório, sem desprender gases tóxicos. Entende-se como desempenho satisfatório seu poder de suportar cargas, resistir à penetração das chamas e resistência a transferência de calor.

Também foi concluído por [4] que o concreto suporta temperaturas de até 300°C sem perdas consideráveis de resistência quando resfriados lentamente. A partir desta temperatura as perdas podem ser de 28% até 64% quando atinge 450°C. Concretos elevados a temperaturas acima de 750°C apresentam esfrelamento e desagregação, não possibilitando sua ruptura à compressão.

Outro fator que influencia na perda de resistência é a umidade, sendo muito maior em concretos saturados. Isto se deve ao aumento de pressão do vapor d'água dentro do concreto, podendo vencer sua resistência a tração, provocando trincas e explosões.

II. MATERIAIS E MÉTODOS.

A. Descrição dos componentes

Para a produção do concreto utilizou-se o caroço residual da azeitona, cedido pela Indústria Antares Brasil, localizada na cidade de Três Rios/RJ. O resíduo foi triturado na Embrapa Solos do Rio de Janeiro utilizando um moinho de facas.

A formulação do traço para produção do concreto consistiu na substituição de parte da areia pelo caroço de azeitona. A granulometria do caroço de azeitona entre 2,00 mm e 1,18 mm assemelha-se a granulometria da areia média.

Utilizou-se o cimento Portland de alto-forno (CPIII-40 Rs) formado por 35% a 70% de escória (resíduo proveniente dos altos fornos de indústrias siderúrgicas), o que garante baixo calor de hidratação, maior impermeabilidade e durabilidade.

O tamanho da brita foi definido seguindo a NBR 7225 [5] sendo utilizada a brita de número 1 (19 mm e 9,5 mm).

B. Descrição dos traços

Os traços foram produzidos utilizando medidas de volume. Para produção destes traços com 15% e 5% de resíduo, foi utilizado a proporção de 2:1:1:0,5 para brita:areia:cimento:água onde parte dessa areia foi substituída pelo resíduo. As misturas destas matérias primas foram realizadas em uma betoneira de capacidade de 120 L. Assim, os corpos de prova com dimensões de 20 cm x 10 cm foram preenchidos considerando os parâmetros estabelecidos pela NBR 5738[6].

C. Teste de adensamento

Para o preenchimento dos corpos de prova, foi necessário a realização do teste de adensamento (*Slump Test*) seguindo a NBR NM 67 [7]. Esse teste na adição de massa de concreto em uma forma tronco-cônico com três camadas igualmente adensadas com 25 golpes. Deste modo, a forma é retirada lentamente e colocada ao lado para avaliação da diferença entre a altura do molde e da massa assentada.

D. Teste térmico

Foram analisados os efeitos da elevação da temperatura em corpos de prova cilíndricos armazenados por um período de 70 dias (produzidos com a incorporação de 15% do caroço de azeitona) e corpos de prova armazenados por um período de 15 dias (produzidos com a incorporação de 5% do caroço de azeitona). Os resultados foram comparados com análises dos corpos de prova submetidos à compressão sem a ação da temperatura.

Os concretos foram levados a uma mufla (900°C) por 25 minutos. O ensaio foi realizado em triplicata e não seguiu uma norma estabelecida, pois não há lei específica para regulamentação.

E. Teste de compressão axial

Após o ensaio térmico, os concretos foram submetidos ao ensaio de compressão em uma prensa hidráulica de

capacidade de 80 MPa. O teste foi realizado seguindo a NBR 5739 [8].

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após o teste de adensamento (Figura 1), observou-se que ocorreu a diminuição da altura da massa de concreto em relação ao tronco-cônico. Assim, segundo [9], o concreto se enquadrou dentro do limite estabelecido, apresentando boa fluidez, podendo ser bombeado a alturas maiores de 40 m.



FIGURA 1. SLUMP TEST

As Figuras 2, 3 e 4 apresentam o concreto antes, durante e após ensaio térmico, respectivamente. E a figura 5 apresenta o concreto após o a compressão axial.



FIGURA 2. CONCRETO ANTES DA AÇÃO DO FOGO

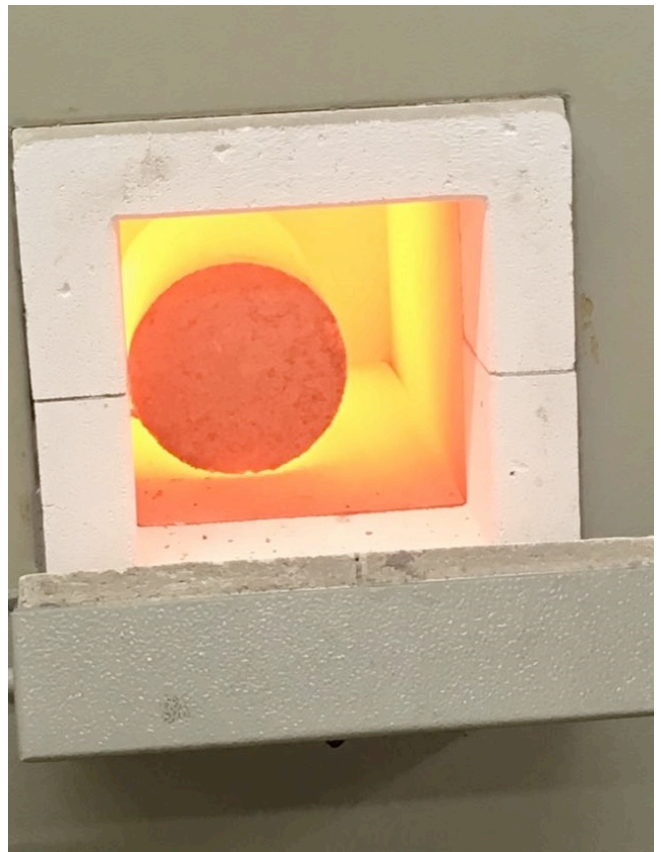


FIGURA 3. CONCRETO DURANTE A AÇÃO DO FOGO



FIGURA 3. CONCRETO APÓS A AÇÃO DO FOGO



FIGURA 5. CONCRETO APÓS A COMPRESSÃO AXIAL

Os gráficos dos ensaios a compressão axial são ilustrados na Figura 6 e 7. Eles foram gerados pelo software Pavitest concreto 1.3.0.24 de acordo com a norma para ensaio de compressão de corpos cilíndricos [8].

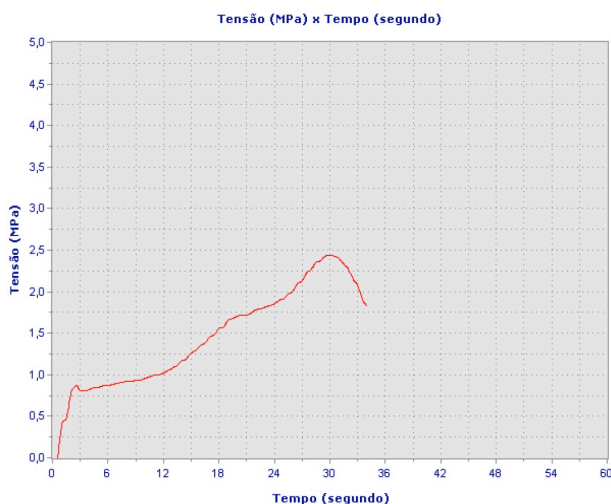


FIGURA 6 - RESULTADO DE RESISTÊNCIA APÓS 70 DIAS COM 15% DE RESÍDUO (SOFTWARE PAVITEST CONCRETO 1.3.0.24).

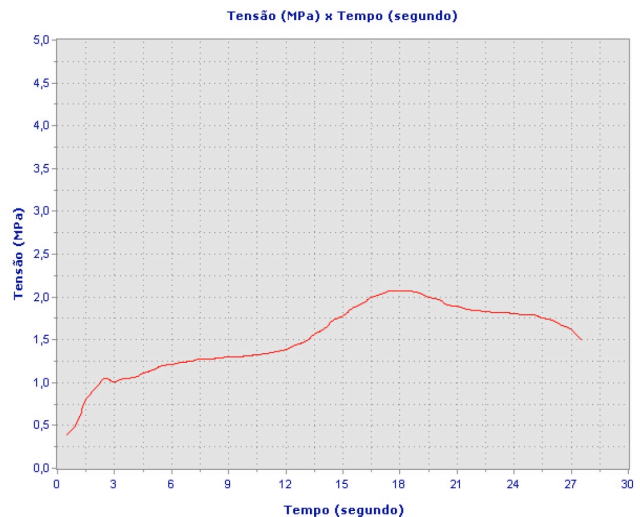


FIGURA 7 - RESULTADO DE RESISTÊNCIA APÓS 15 DIAS COM 5% DE RESÍDUO (SOFTWARE PAVITEST CONCRETO 1.3.0.24).

Os resultados da resistência a compressão foram $2,25 \pm 0,36$ MPa e $2,17 \pm 0,31$ Mpa (Tabela 1) para os corpos de prova de concreto armazenados durante 70 e 15 dias, respectivamente. Eles foram comparados com análises dos corpos de prova submetidos à compressão sem a ação da temperatura, em que apresentaram resistência a compressão de 12-15 MPa.

Em comparação ao tempo (15 e 70 dias) e a % de incorporação (5 e 15%) os resultados não apresentaram diferenças significativas, evidenciando somente a ação da temperatura sobre os corpos de prova analisados. Assim, os concretos submetidos à ação da temperatura perderam consideravelmente sua resistência, abaixo dos níveis desejados pela legislação. Além disso, em acordo com [4], os concretos apresentaram coloração amarelo alaranjado e sua resistência foi danificada a ponto de esfarelar e desagregar a uma pequena resistência.

TABELA I. RESISTÊNCIA DO CONCRETO ANTES E APÓS AQUECIMENTO

Tempo de cura (dias)	Resistência (MPa)	
	Antes do aquecimento	Após aquecimento
15 (5%)	12	2,17 ±0,31
70 (15%)	15	2,25 ± 0,36

*Fonte: Autor

IV. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos, observou-se a redução de aproximadamente 81-85% da resistência a compressão do concreto após ser submetido à alta temperatura (900 °C). Na literatura, encontram-se diversos estudos relacionados a incorporação de resíduos de origem orgânica na produção de concreto, porém, poucos estudos abordam o comportamento destes materiais quando submetidos a altas temperaturas ou quando estão em situação de fogo. Assim este trabalho, ressalta a necessidade de se aprimorar os estudos sobre o comportamento de concretos em altas temperaturas e de uma norma regulamentadora específica.

REFERÊNCIAS

- [1] C. Wilson. “Fabricação de subprodutos gerados a partir do resíduo do processo de descascamento e seleção de azeitonas brutas.” Trabalho de Conclusão do Curso de Química Industrial Universidade Severino Sombra Vassouras-RJ. 2012. Goldemberg, J. – Quim. Nova. Vol. 32, No. 3, 582-587, 2009 – Universidade de São Paulo, São Paulo - SP, Brasil
- [2] B. Camile, Carço de azeitona (*olea europea L.*) preparação, caracterização e sua aplicação como biossorvente na remoção do corante violeta de metila de solução aquosa. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Pampa, 2016.
- [3] S. Josilene A., C. Manoela S. L. M., B. Alexandre, C. Wilson, P. Cristiane S. S., “Avaliação da produção de concreto utilizando o resíduo do processamento industrial da azeitona” Congresso Luso-Brasileiro Materiais de Construção Sustentáveis, Coimbra/Portugal, 2018.
- [4] M. Gilson, C. Alessandro, F. Adriana M. P., “A ação do fogo sobre os componentes do concreto. ” Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, v.32, n. 1, p. 47-55, janeiro/março 2011.
- [5] Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR 7225 Concreto – Materiais de pedra e agregados naturais. Rio de Janeiro, RJ, 1993.
- [6] Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR 5738 Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, RJ, 2015.
- [7] Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR NM 67 Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco cone. Rio de Janeiro, RJ, 2007.
- [8] Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR 5739 Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, RJ, 2007.
- [9] Ripper, E. Manual prático de matérias de construção: recebimento, transporte interno, estocagem, manuseio e aplicação. Pini, 1995.
- [10] N. Walter, “Arquitetando a segurança contra incêndio.” Tese de Doutorado em Tecnologia da Arquitetura. Universidade de São Paulo São Paulo, São Paulo-SP, 2011.
- [11] XXX estruturas de concreto armado...XXX
- [12] N. Adam. M. Propriedades do concreto. São Paulo: Pini, 1923.

Revestimentos poliméricos anticorrosivos aplicados em chapas de aço na indústria naval

Érick Ledyan de Almeida
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica (PPGEM)
Universidade Federal Fluminense (UFF)
Volta Redonda, Brasil
erickledyan253@hotmail.com

Isaac Agnello da Silva Sobreiro
Departamento de Química
Instituto de Ciências Exatas (ICEx)
Universidade Federal Fluminense (UFF)
Volta Redonda, Brasil
Isaac.agnello@bol.com.br

Geraldine Nancy Rodríguez Perea
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica (PPGEM)
Universidade Federal Fluminense (UFF)
Volta Redonda, Brasil
geraldineperea@gmail.com

Marcos Vinicius Lorevice
Programa de Pós-Graduação em Química (PPGQ)
Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)
São Carlos, Brasil
marcos.lorevice@gmail.com

Elivelton Alves Ferreira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica (PPGEM)
Departamento de Química
Instituto de Ciências Exatas (ICEx)
Universidade Federal Fluminense (UFF)
Volta Redonda, Brasil
eliveltonalves@id.uff.br

Leticia Vitorazi
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica (PPGEM)
Departamento de Engenharia Metalúrgica e Materiais
Escola de Engenharia Metalúrgica de Volta Redonda (EEIMVR)
Universidade Federal Fluminense (UFF)
Volta Redonda, Brasil
leticiavitorazi@id.uff.br

Resumo— Por se tratar de um processo espontâneo de degradação, a corrosão é um dos principais problemas em materiais nos vários setores da sociedade. Para retardar tal processo, métodos de proteção são empregados, como o revestimento da superfície de materiais susceptíveis com uma substância que o separe do meio corrosivo. Dentre os revestimentos empregados como métodos de proteção na indústria naval, podem ser citadas as pinturas baseadas nas resinas epóxi e poliuretanos. Devido à natureza da reação de corrosão, é possível considerar um sistema de reação como uma pilha eletroquímica e adaptá-la a um circuito elétrico, o que permite levantar dados a respeito da eficácia de proteção de um revestimento. Dessa forma, o objetivo desse estudo é empregar a técnica de espectroscopia de impedância eletroquímica para se avaliar a resistência à corrosão de revestimentos baseados em resinas epóxi e poliuretano, comerciais, empregadas na indústria naval.

Palavras-chave—Corrosão, Revestimentos, Resinas epóxi, Poliuretano, espectroscopia de impedância eletroquímica.

I. INTRODUÇÃO

O aço, por ser uma liga com grande variedade de composição [1], tem aplicabilidade em variados setores, conforme as propriedades que as diferentes composições conferem à liga, sendo que, parte do aço produzido no Brasil é destruída pela corrosão [2].

Para evitar esses problemas, empregam-se métodos de proteção, que consistem em adicionar um reagente de sacrifício ou cobrir a superfície do material com uma substância capaz de separar o material do meio corrosivo e que seja insolúvel no mesmo [2] normalmente outro material

de engenharia, que pode ser outro metal, uma cerâmica ou um polímero [1]. Às vezes, existem combinações desses compostos em um mesmo material, o que é o caso das tintas plásticas. Dentre as principais resinas empregadas contra corrosão, podem-se citar as resinas epóxi e poliuretanos.

A resina epóxi é um polímero termofixo geralmente produzido pela reação de condensação em temperatura ambiente do bisfenol-A com a epocloridrina seguida da cura empregando, por exemplo, aminas [3]. Por condensação também é possível se obter o polímero termofixo poliuretano, por exemplo, a partir da reação de um diisocianato com um polioliol, sendo que o grau de reticulação está associado ao número de funcionalidades presentes nas espécies reagentes [4].

Normalmente, por questões de aderência ou de espessura, é necessário mais uma demão de tinta. Nas tintas anticorrosão emprega-se a tinta primer também chamada de tinta de fundo, que é aplicada na primeira demão para sustentar as camadas mais externas e conferir melhor aderência ao revestimento. Por ser a tinta que faz contato direto com o material, também deve conter os pigmentos anticorrosivos para que os mesmos estejam em contato com o material e procedam com a proteção. A tinta de acabamento é a última tinta aplicada, logo, é a mais externa, sendo a tinta que confere a cor do revestimento e a que resiste a ação química, por entrar em contato direto com os agentes corrosivos. Adicionalmente, para aumentar a espessura da tinta, usa-se uma tinta intermediária, que é opcional, uma vez que pode ser substituída por uma demão de tinta de fundo ou acabamento [5], [2].

Devido à natureza das reações que levam a corrosão é possível considerar o sistema da reação como uma pilha eletroquímica e adaptá-la a um circuito elétrico, o que permite levantar dados a respeito da eficácia dessa proteção a partir dos dados de potencial, corrente, resistência e capacitância. Alguns estudos vêm aplicando a técnica de espectroscopia de impedância eletroquímica com esse propósito com sucesso [6], [7], [8]. Portanto, o objetivo desse trabalho é empregar a técnica de espectroscopia de impedância eletroquímica para se avaliar a resistência à corrosão de revestimentos baseados em resinas epóxi e poliuretano, comerciais, empregados na indústria naval.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

A. Materiais

Componente A (bisfenol-A-epicloridrina, Hempadur Mastic, código 45889, tinta 1 na cor vermelha e tinta 2 na cor cinza) e componente B (contendo trietilenotetramina, Hempel's código 5880) foram empregados no preparo das tintas usadas nas camadas 1 (primer) e 2 (segunda demão). Componente A (contendo grupos hidroxilados, Hemplane HS, código 7036, componente A, tinta 3, cor cinza) e componente B (contendo homopolímero de hexametileno-1,6-diisocianato, Hempel's, código 97050) foram empregados no preparo da tinta 3 (terceira demão). Esses componentes de tintas foram gentilmente fornecidos por uma empresa do setor de construção naval.

B. Preparação dos Filmes e caracterização por FTIR

Os componentes A e B foram misturados na proporção em volume 3:1 para todas as tintas, respectivamente. A mistura filmogênica de espessura aproximada de 1,0 mm foi aplicada sobre uma superfície de vidro obtendo-se filmes com espessuras finais de aproximadamente 0,7 mm após a cura.

Filmes após a cura de 24h foram removidos e cortados com diâmetros de 5mm e podem ser observados na Fig.1.

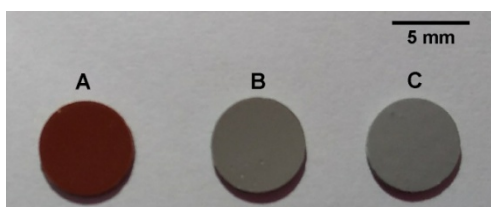


Fig. 1. Filmes poliméricos obtidos: tintas 1, 2 e 3.

Para as análises de espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) foi utilizado um Paragon 1000 Perkin-Elmer Spectrum (Perkin-Elmer Life and Analytical Science, Inc., Waltham, MA, EUA) com variação do comprimento de onda de 4000 – 400 cm^{-1} . Ambos os componentes A e B em filmes de KBr e a mistura dos componentes após 24h de cura foram analisados em modo de reflectância total atenuada (ATR).

C. Amostra metálica com revestimento e medidas de impedância

Amostras de aço carbono ABS-13-AH36 (com 0,2% de Si, 0,16% de C, 1,47% de Mn, 0,03% de Al e Nb, 0,02% de Cr, 0,016% de P e 0,01% de Mo) nas dimensões 4x4x0,6 cm foram higienizadas e receberam jateamento abrasivo com granalhas de aços angulares e esféricas que foram impelidas por meio de ar comprimido resultando em superfícies com perfil de rugosidade do tipo Sa 2 ½, conforme ISO 8501-1. Medidas de rugosidade foram realizadas com um relógio comparador analógico Elcometer com escala de 0,002mm fazendo a medição em 3 pontos distintos da amostra e observou-se perfil de rugosidade média de 73 μm +/-9 μm .

As tintas foram aplicadas sobre as superfícies dessas placas metálicas de maneira a se obter amostras com apenas uma camada (tinta 1) ou amostras com duas camadas (tinta 1 + 2) ou três camadas (tinta 1 + tinta 2 + tinta 3).

Para os ensaios eletroquímicos foi utilizada uma célula eletroquímica do tipo Tait, eletrodo de referência de Ag|AgCl saturado com KCl ligado à solução através de um capilar de Luggin e um contra eletrodo de platina. Os ensaios foram realizados a temperatura ambiente, com aeração, utilizando a solução de NaCl 3,5% m/m preparadas com reagentes com grau analítico e água ultrapura (17,3 M Ω -cm).

As medidas de espectroscopia de impedância eletroquímica (EIS) foram realizadas em potenciostato da Solartron Analytical com potencial alternado (Eac) de 10 mV e potencial contínuo (Edc) igual ao potencial em circuito aberto e então, foi realizada uma varredura de frequência na faixa de 100 kHz a 0,4 kHz registrando 10 pontos por frequência.

III. RESULTADOS

Os espectros no infravermelho, na região 4000–500 cm^{-1} , estão representados na Fig. 2. Os filmes poliméricos foram colocados diretamente no equipamento e analisados no modo de transmitância, resultando em um gráfico de % de transmitância em função do número de onda. Foram realizadas medidas dos filmes de cada componente (A e B) e também da mistura (tinta).

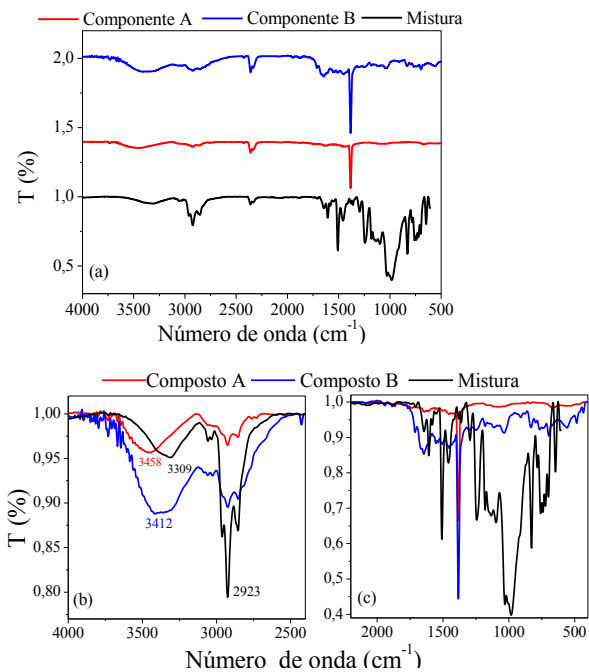


Fig. 2. (a) Espectro de infravermelho dos componentes A e B da mistura após a cura de 24h a temperatura ambiente; (b) região ampliada entre 4000 e 2000 cm^{-1} ; (c) região ampliada de 2200 e 400 cm^{-1} . Vermelho indica o composto A; preto o composto B; azul indica a mistura do composto A e B.

A Fig. 2a apresenta os espectros de infravermelho dos compostos A, B e da mistura de ambos. Nota-se que após a mistura, ocorreu o aparecimento de bandas entre 1500 e 500 cm^{-1} , inferindo de que de alguma forma os compostos A e B reagiram como esperado [3]. A Fig. 2b e Fig. 2c apresentam regiões ampliadas do espectro. As bandas entre 3600 e 3000 cm^{-1} (Fig. 2b) estão relacionadas à estiramentos vibracionais relacionados à ligações N-H comuns aos três espectros, sendo mais evidente no composto B pela maior quantidade de grupos funcionais NH_3 (Fig. 2b), o qual apresenta ainda bandas entre 1580–1480 cm^{-1} , 1480–1000 cm^{-1} relacionadas à estiramentos de aminas secundárias e terciárias, respectivamente. Nota-se que há uma diminuição da intensidade das bandas e um deslocamento (Fig. 2b) na região de 3600 e 3000 cm^{-1} [9] na mistura em relação ao composto B, o que é justificado por parte dos grupos NH_2 reagirem com os grupos epóxis provenientes do composto A, cuja banda característica na região de 900 cm^{-1} [10] se deslocou para regiões próximas à 950 cm^{-1} (Fig. 2c). Bandas na região de 2900 e 2800 cm^{-1} referem-se aos estiramentos –C-H dos grupos – CH_2 e – CH_3 . A banda intensa em 1380 cm^{-1} resultante da ligação C-Cl do composto A não aparece no espectro da mistura, uma vez que o cloro é removido da estrutura da epícloridrina quando esta reage com o Bisfenol-A [3], [11].

O filme 2 (resultante da mistura do componente A com o B) foi produzido e analisado por espectroscopia no infravermelho no intuito mimetizar uma segunda camada de tinta e de investigar possíveis variações na composição do filme. A Fig. 3a apresenta o espectro do composto A, composto B e da mistura de ambos, denominado de filme 2. Para esse caso, constata-se que não houve mudanças se comparados com os espectros da Fig. 2a, o que era esperado tendo em vista que não houve mudança nos componentes do filme.

A Fig. 3b apresenta o espectro referente aos componentes A e B e da mistura de ambos para a tinta da terceira demão. O componente A, hidroxilado, reage com o composto B, isocianato, produzindo o poliuretano [12]. Nesse caso, observa-se bandas características dos grupos funcionais C=O na região de 1735 cm^{-1} . Bandas relacionadas aos estiramentos simétricos e assimétricos de ligações CH com C=O podem ser encontrados na região de 2760 cm^{-1} . A banda correlata ao grupo funcional NCO, do isocianato, na região de 2260 cm^{-1} tende a diminuir com a cura, contudo as bandas uretanas na região entre 1730 e 1450 cm^{-1} , proveniente dos estiramentos C=O e N-H, tende a aumentar a intensidade (Fig. 3) [12].

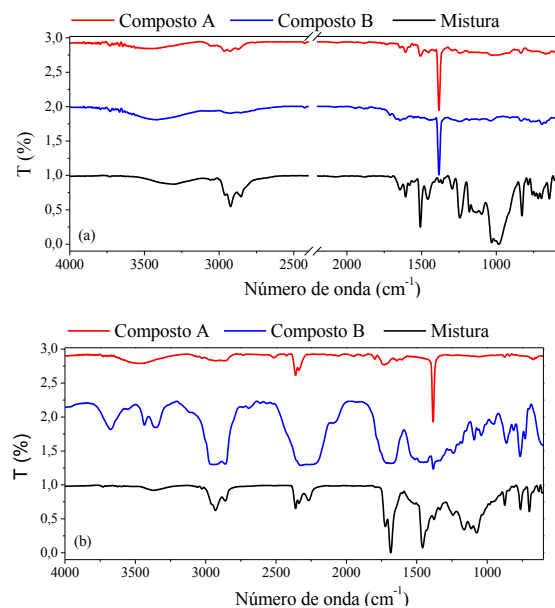


Fig. 3. Espectro de infravermelho dos componente A, B e a mistura (a) para o filme 2 e (b) para o filme 3. Vermelho indica o componente A; azul o composto B e preto indica a mistura do componente A e B.

Na Fig. 4 são mostrados os diagramas de plano complexo (A) e o de $-\theta$ vs. $\log f$ (B) da amostra com uma camada de pintura depois de 5 meses imersa em solução contendo 3,5% m/m de NaCl. No diagrama de plano complexo observa-se um arco capacitivo-resistivo associado com a resposta elétrica de uma camada de pintura sobre o substrato metálico com valores Z real acima de 150 $\text{k}\Omega \text{cm}^2$. Este valor mostra que apenas uma camada já garante a proteção do substrato contra corrosão [13]. Quando se analisa o diagrama de $-\theta$ vs. $\log f$ (B), observa-se, a altas frequências, a resposta capacitiva do filme orgânico e a medida que se diminui a frequência, a resposta do elemento resistivo associado com a resistência à transferência de carga.

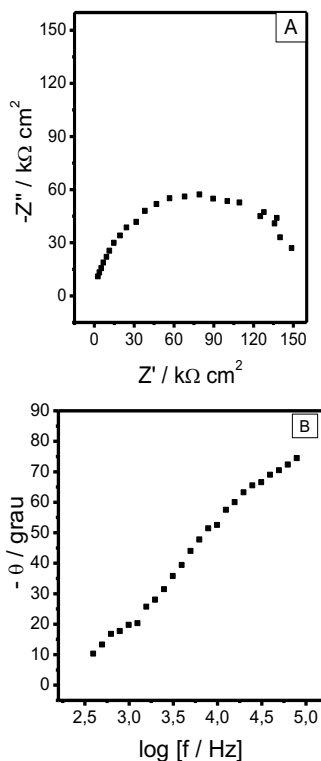


Figura 4 – Diagrama de plano complexo (A) e de $-\theta$ vs. $\log f$ (B) da amostra com uma camada de pintura.

Na Fig. 5 é mostrado no diagrama de $\log |Z|$ vs. $\log f$ o efeito da aplicação de mais camadas de tintas. Pode ser observado neste diagrama valores de $\log |Z|$, nas baixas frequências, maiores para a amostra com três camadas seguida pela amostra com duas camadas e uma camada mostrando que a adição de mais camadas de tintas aumentam ainda mais a resistência à corrosão.

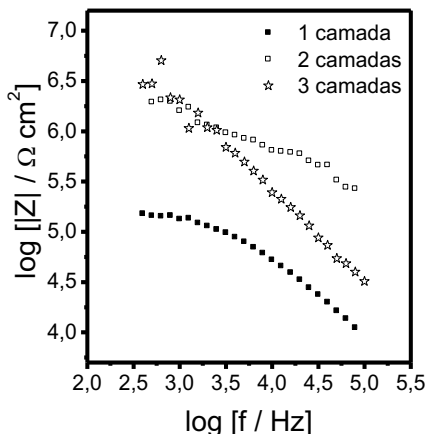


Figura 5 – Diagrama de $\log |Z|$ vs. $\log f$ para as amostras com 1, 2 e 3 camadas de pinturas.

IV. CONCLUSÕES

As análises de espectroscopia no infravermelho permitiram observar o resultado das reações dos componentes poliméricos com as curas (filme 1 e filme 3). Ainda constatou-se que com a adição de uma segunda demão (filme 2) não há variação na composição final do filme.

Os resultados de espectroscopia de impedância eletroquímica mostram que o revestimento garante a proteção contra corrosão do substrato metálico depois de 5 meses de imersão em solução salina que simula a água do mar e que o aumento das camadas de tinta garante ainda mais esta proteção.

V. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Embrapa Instrumentação de São Carlos, SP pelo apoio e suporte científico nas caracterizações de espectroscopia no infravermelho.

REFERÊNCIAS

- [1] J. F. N. Shackelford, *Ciência dos materiais; tradução Daniel Vieira. Revisão técnica Nilson C. Cruz.*, 6ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.
- [2] V. Gentil, *Corrosão*, 6ª ed. LTC, 2011.
- [3] A. L. Cupples, H. Lee, e D. G. Stoffey, “The Design and Synthesis of Epoxy Resins for Rapid Room Temperature Cures with Primary Amines in Small Masses”, in *Epoxy Resins*, p. 173–207.
- [4] F. M. B. Coutinho e M. C. Delpech, “Poliuretanos como materiais de revestimento de superfície”, *Polímeros*, vol. 9, p. 41–48, 1999.
- [5] R. N. Shreve e J. A. Brink Jr., *Indústrias de Processos Químicos*, 4ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.
- [6] F. Zhang, J. Liu, X. Li, e M. Gu, “Study of degradation of organic coatings in seawater by using EIS and AFM methods”, *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 109, n° 3, p. 1890–1899, ago. 2008.
- [7] S. K. M. Jamari *et al.*, “Studies on anticorrosion properties of polyaniline-TiO₂ blended with acrylic-silicone coating using electrochemical impedance spectroscopy”, *Pigment Resin Technol.*, vol. 45, n° 1, p. 18–23, 2016.
- [8] H. S. Emira, “Effect of PVC/CPVC ratio of non-toxic, platy pigments on corrosion protection of acrylic-modified alkyd coatings”, *ANTI-Corros. METHODS Mater.*, vol. 53, n° 4, p. 224–231, 2006.
- [9] Y. Song, L. Li, e Q. Zheng, “Influence of Epichlorohydrin Modification on Structure and Properties of Wheat Gliadin Films”, *J. Agric. FOOD Chem.*, vol. 57, n° 6, p. 2295–2301, mar. 2009.
- [10] S. Yoshida, “Quantitative evaluation of an epoxy resin dispersion by infrared spectroscopy”, *Polym. J.*, vol. 46, n° 7, p. 430–434, jul. 2014.
- [11] R. Ullah, I. Ahmad, e Y. Zheng, “Fourier Transform Infrared Spectroscopy of ‘Bisphenol A’”, *J. Spectrosc.*, 2016.
- [12] B. Zimmer, C. Nies, C. Schmitt, C. Paulo, e W. Possart, “Chemistry, polymer dynamics and mechanical properties of a two-part polyurethane elastomer during and after crosslinking. Part II: moist conditions”, *Polymer*, vol. 149, p. 238–252, 2018.
- [13] A. F. Suzana, E. A. Ferreira, A. V. Benedetti, H. W. P. Carvalho, C. V. Santilli, e S. H. Pulcinelli, “Corrosion protection of chromium-coated steel by hybrid sol-gel coatings”, *Surf. Coat. Technol.*, vol. 299, p. 71–80, 2016.

Distribuição do Tamanho de Partícula da dissolução química de resíduo polimérico.

Ricardo de Sousa Cunha
Departamento de Engenharia Química e
Engenharia de Alimentos
UFSC
Florianópolis, Santa Catarina
r.scunha@yahoo.com.br

Lucas André Ignácio Langsch
Departamento de Engenharia Química e
Engenharia de Alimentos
UFSC
Florianópolis, Santa Catarina
lucas.langsch@gmail.com

Guilherme Davi Mumbach
Departamento de Engenharia Química e
Engenharia de Alimentos
UFSC
Florianópolis, Santa Catarina
guilhermemumbach@yahoo.com.br

Ricardo Machado
Departamento de Engenharia Química e
Engenharia de Alimentos
UFSC
Florianópolis, Santa Catarina
ricardomachado@ufsc.br

Arioaldo Bolzan
Departamento de Engenharia Química e
Engenharia de Alimentos
UFSC
Florianópolis, Santa Catarina
ariovaldobolzan@ufsc.br

Resumo — *Um método ambientalmente amigável e com agregação de valor na reciclagem de resíduos poliméricos foi desenvolvido neste trabalho. Utilizou-se um solvente verde e renovável e obteve-se nanopartículas de Poliestireno (PS) por meio da técnica de nanoprecipitação, a partir de resíduos do Poliestireno Expandido (EPS). O resíduo foi dissolvido em acetato de etila e precipitado em álcool etílico. Avaliou-se a concentração do EPS (3 % m/m), velocidade de agitação (2000 RPM) e razão solvente/não-solvente - S/N (1:25 e 1:30) na obtenção das nanopartículas. O material precipitado foi caracterizado por meio das técnicas de Dispersão de Luz Dinâmica (DLS), Microscopia Eletrônica de Varredura com Emissão de Campo e Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (EITF). Verificou-se que a distribuição de partícula mais estreita, como também a menor polidispersividade foi obtida na maior razão S/N testada (1:30). Não houve alterações na estrutura química. Assim, as características obtidas nesse trabalho para as nanopartículas de PS são muito importantes para a valorização do material no mercado de polímeros reciclados.*

Palavras-chave: *Nanopartículas; Reciclagem; Poliestireno Expandido; Nanoprecipitação; Acetato de Etila; Caracterização.*

I. INTRODUÇÃO

O poliestireno (PS) é um polímero termoplástico rígido, inerte e não tóxico, obtido através da polimerização do monômero de estireno. As espumas de PS podem ser utilizadas em vários setores, elas servem como embalagens, isolantes e materiais de armazenamento. Seu custo e propriedades permitem uma variedade de aplicações. A sua ampla cadeia de utilização, gera um elevado descarte desse material e representa uma demanda de 20% do volume total de ocupação em aterros sanitários no Brasil ano de 2013 [1].

O descarte inapropriado deste material resulta em danos ambientais devido ao seu longo tempo de degradação na natureza [2]. A baixa densidade do EPS, devido à alta quantidade de ar aprisionada em sua estrutura, viabiliza as aplicações na área de isolamento térmico, mas em contrapartida, compromete economicamente uma logística reversa para sua reciclagem[3,4].

No intuito de mitigar as implicações do descarte de resíduo de PS, processos ambientalmente sustentáveis na área de reciclagem estão sendo inovados e aprimorados. As

principais vias de reciclagem para esse resíduo são a mecânica, térmica e tecnologias alternativas [5-7].

Uma das tecnologias alternativas, o processo de nanoprecipitação, permite a dissolução de um resíduo polimérico, o que reduz seu volume e, quando combinado com um antisolvente miscível ou parcialmente miscível, pode formar materiais de ordem nanométrica com propriedades similares ao produto de origem [8,9]. As nanopartículas de PS podem ser aplicadas em aditivos de biocombustíveis, produção de membranas e em carreamento de fármacos [10-12].

O objetivo desse estudo é obter a distribuição de tamanho das nanopartículas do PS formadas por meio da técnica de nanoprecipitação, utilizando resíduos de poliestireno expandido.

II. MATERIAS E MÉTODOS

Os resíduos de EPS industrial foram usados. O solvente acetato de etila (99%) foi adquirido pelo fornecedor Butilamil[®] e o antisolvente álcool etílico (98,9%) foi obtido junto a empresa Neon Química[®].

As partículas de PS foram obtidas usando a técnica de nanoprecipitação. Dissolveu-se os resíduos de EPS em acetato de etila por agitação magnética durante 10 min a temperatura de 25 °C, a fim de garantir total solubilização da mistura. Utilizou-se uma solução de EPS 3 % (m/m), velocidade de agitação de 2000 RPM e razão solvente/antisolvente (S/N) de 1:20, 1:25 e 1:30. Em seguida, a solução de EPS foi adicionada a solução de álcool etílico para gerar as nanopartículas de PS com agitação magnética e razão S/N constantes, definidas previamente,. Posteriormente, centrifugou-se a solução final por 10 min a 10.000 RPM. Essa operação foi feita consecutivamente, a fim de garantir total remoção de contaminantes residuais e eficiência no processo de lavagem. Por fim, o material obtido foi seco numa estufa de convecção forçada a 60 °C por 24 h, no intuito de remover quaisquer voláteis.

A. Dispersão de Luz Dinâmica

O tamanho e a polidispersividade das nanopartículas precipitadas de PS foram determinados por DLS a temperatura de 25°C, no equipamento Nanosizer S 90 - MALVERN®, ângulo de leitura 90° e comprimento de onda 633 nm. A leitura da amostra foi feita em uma cuba retangular de vidro. O índice de refração do solvente usado e a absorção do material analisado foram 1,55 e 0,1 respectivamente.

B. Microscopia Eletrônica de Varredura com

A morfologia das partículas foi analisada com o microscópio JEOL® JSM-6701F, a uma voltagem de 10 kV e corrente de 10 mA. As amostras foram pulverizadas com ouro por 80 s.

C. Espectroscopia Vibracional de Absorção no Infravermelho

As amostras foram analisadas na forma de pastilhas de Brometo de Potássio (KBr) com o auxílio de um espectrômetro SHIMADZU®, modelo IRPrestige-21 na faixa de leitura de 400-4000 cm^{-1} com resolução de 4 cm^{-1} e 32 varreduras.

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A técnica de nanoprecipitação promoveu a formação de partículas a partir da deposição interfacial do polímero, após o deslocamento do solvente para a fase antisolvente sob agitação vigorosa. Se estas forem miscíveis ocorrerá uma difusão acentuada de massa, que divide a fase solvente em pequenas gotas gerando “gotículas submicrométricas”. (Mora-Huertas et al., 2011; Zambrano-Zaragoza et al., 2011).

Dentre as condições experimentais estudadas, todos os ensaios feitos formaram partículas de ordem nanométrica. Contudo, na maior razão S/N (1:30) nota-se que a distribuição de tamanho foi mais estreita (Fig. 1c), seguida da razão S/N 1:25 e 1:20 mostradas nas Fig. 1b e 1a respectivamente.

Observou-se que com o aumento da razão S/N, o tamanho e a polidispersividade das nanopartículas diminuiu. Uma maior concentração de antisolvente favoreceu a difusão do solvente, reduzindo à resistência a transferência de massa, formando nanopartículas com menores diâmetros médios. A polidispersividade foi menor na maior proporção S/N (1:30). Assim, pode-se afirmar que essa propriedade tende a diminuir quanto mais rápida for a formação das nanopartículas, uma vez que a velocidade de formação também está vinculada a homogeneidade das cadeias poliméricas geradas.

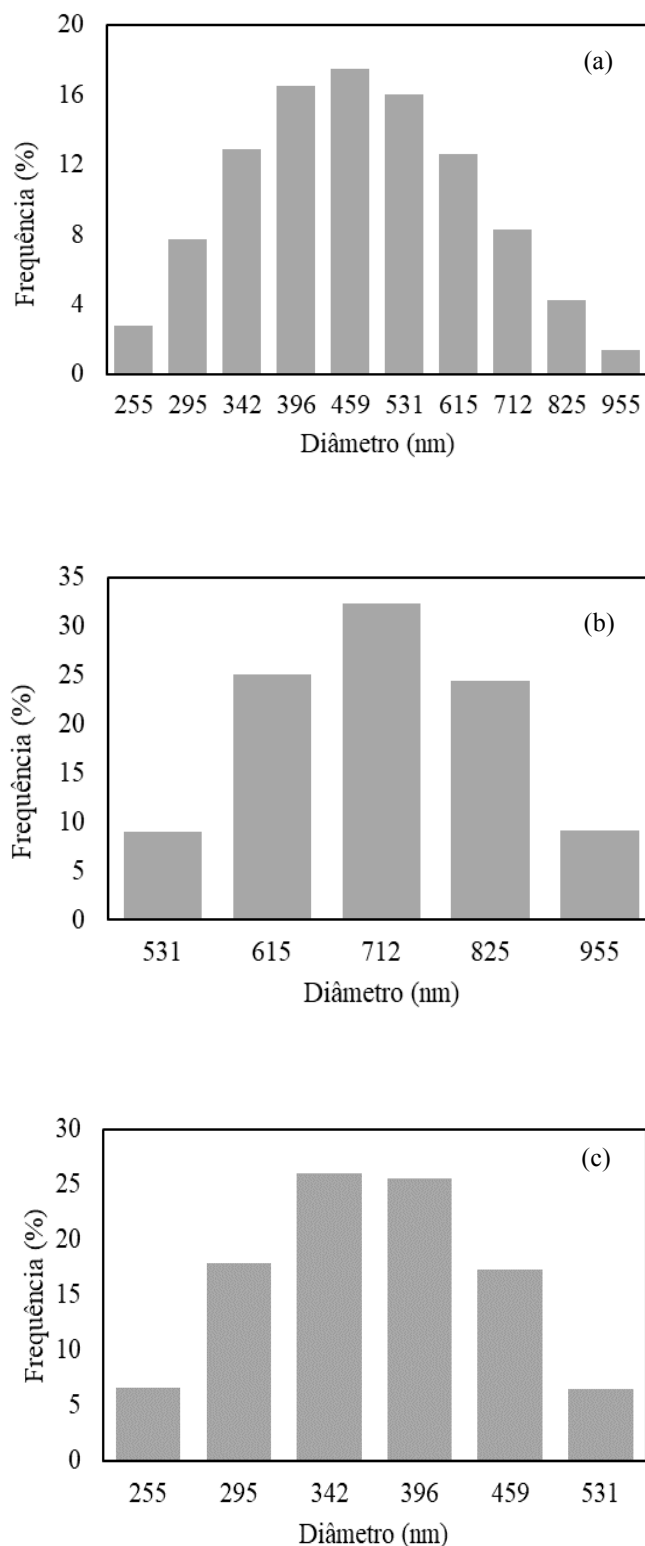


Figura 1 – Distribuição de tamanho de partículas para as nanopartículas de PS.

Verifica-se nas Fig. 2a, 2b e 2c as imagens das microscopias feitas para a amostra obtida com concentração de EPS 3%, velocidade de agitação 2500 RPM e razão S/N 1:30. As imagens estão dispostas em diferentes escalas de ampliação 1.000x (a), 10.000x (b) e 20.000x. A morfologia das partículas possui formato esférico de ordem

nanométrica. Entretanto, nota-se a formação de alguns aglomerados que podem ter sido gerados durante o processo de secagem da amostra, feita previamente à análise.

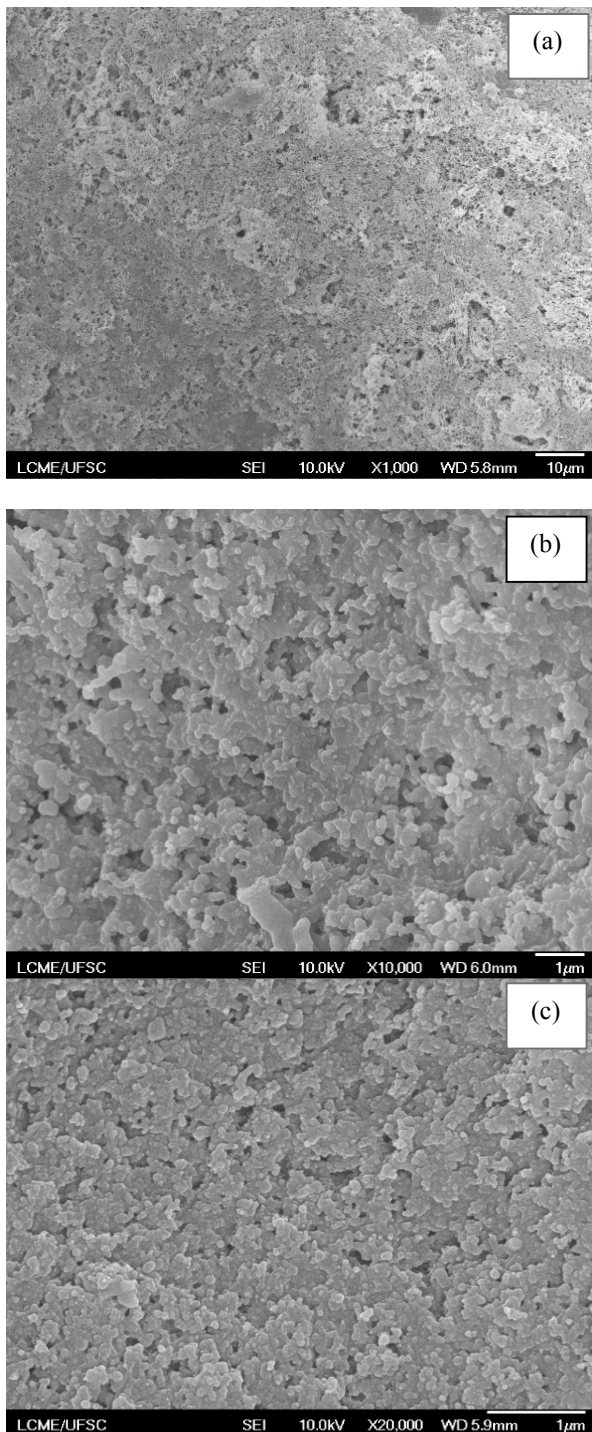


Figura 2 – Microscopias das nanopartículas de PS. (a) 1000x, (b) e (c) 20.000x.

A fim de avaliar a estrutura química do material reciclado com a técnica de EITR, utilizou-se as amostras obtidas nas mesmas condições para a análise MEV-FEG. Os espectros das nanopartículas obtidas e do material reciclado são mostrados na Fig. 3. Os picos em 3008 e 2940 cm^{-1} correspondem às vibrações das ligações C-H aromáticas. O pico 2379 cm^{-1} corresponde ao alongamento alifático da ligação C-H. Os Picos entre 1600 e 1420 cm^{-1} são

justificados pelo alongamento da ligação C=C aromático. O pico 765 cm^{-1} corresponde à deformação aromática da ligação C-H e o pico a 705 cm^{-1} corresponde à deformação por alongamento da ligação C=C, enquanto que o pico correspondente a 572 cm^{-1} pode estar relacionado a presença de água residual, já que essa região pode explicitar a presença de uma ligação O-H na amostra (Coates, 2006). Comparativamente, os espectros são semelhantes e correspondem ao padrão do PS (Rajeev *et al.*, 2016). Dessa maneira, pode-se inferir que não houve alterações na estrutura química do material recuperado, além de isenção de solvente/antisolvente residual na amostra.

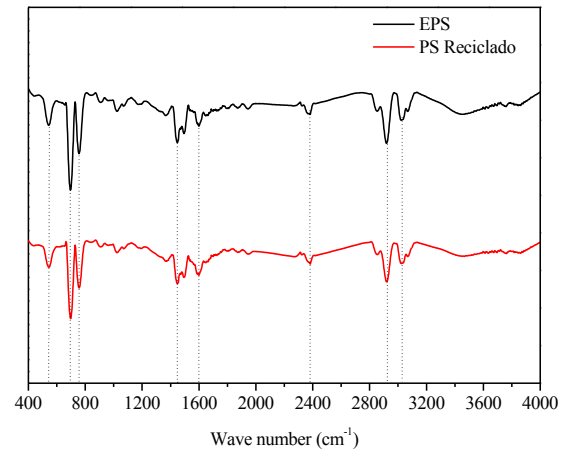


Figura 3 - Espectros de ETIR das nanopartículas de PS e do resíduo do EPS.

IV. CONCLUSÕES

A obtenção de nanopartículas esféricas de PS pelo método de nanoprecipitação foi eficiente, com o uso de um solvente orgânico e renovável no processo de dissolução. O menor diâmetro médio das nanopartículas foi obtido na maior razão S/N estudada (1:30). A morfologia das partículas foi esférica, com a presença de alguns aglomerados. O material reciclado não apresentou modificação em sua estrutura química. Essas características são muito importantes para a valorização do material obtido no mercado de polímero reciclados. Quanto mais puro, livre de solvente e impurezas for o material reciclado, maior é a faixa viável de utilização industrial do material. Dessa forma, estratégias alternativas para reciclagem de resíduos sólidos, devem e precisam ser investigadas, a fim de mitigar os problemas ambientais causados por esses materiais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES e ao CNPQ pelo suporte financeiro, como também ao Laboratório Central de Microscopia da Universidade Federal de Santa Catarina.

REFERÊNCIAS

- [1] OLIVEIRA, C. T. DE; ANDRADE, T. K. DE. Expanded Polystyrene (EPS) Chain Applied to the Circular Economy Concept

- in. p. 1–11, [s.d.]J. Clerk Maxwell, *A Treatise on Electricity and Magnetism*, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68–73.
- [2] CELLA, R. F. *et al.* Polystyrene recycling processes by dissolution in ethyl acetate. *Journal of Applied Polymer Science*, v. 46208, p. 46208, 2018.
- [3] CREVECOEUR, J. J.; NELISSEN, L.; LEMSTRA, P. J. Water expandable polystyrene (WEPS). Part 2. In-situ synthesis of (block)copolymer surfactants. *Polymer*, v. 40, n. 13, p. 3691–3696, 1999.
- [4] SINGH, N. *et al.* Recycling of plastic solid waste: A state of art review and future applications. *Composites Part B: Engineering*, v. 115, p. 409–422, 2017.
- [5] GUTIÉRREZ, C. *et al.* Preparation and characterization of polystyrene foams from limonene solutions. *The Journal of Supercritical Fluids*, v. 88, p. 92–104, 1 abr. 2014.
- [6] HEARON, K. *et al.* A high-performance recycling solution for polystyrene achieved by the synthesis of renewable poly(thioether) networks derived from d -limonene. *Advanced Materials*, v. 26, n. 10, p. 1552–1558, 2014.
- [7] RAGAERT, K.; DELVA, L.; GEEM, K. VAN. Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. *Waste Management*, 2017.
- [8] MARTÍNEZ RIVAS, C. J. *et al.* Nanoprecipitation process: From encapsulation to drug delivery. *International Journal of Pharmaceutics*, v. 532, n. 1, p. 66–81, 2017.
- [9] RAJEEV, A. *et al.* Conversion of expanded polystyrene waste to nanoparticles via nanoprecipitation. *Journal of Applied Polymer Science*, v. 133, n. 4, p. 1–8, 2016.
- [10] RAJAEIFAR, M. A.; ABDI, R.; TABATABAEI, M. Expanded polystyrene waste application for improving biodiesel environmental performance parameters from life cycle assessment point of view. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 74, n. December 2015, p. 278–298, 2017.
- [11] NAEIMIRAD, M. *et al.* Recent advances in core/shell bicomponent fibers and nanofibers: A review. *Journal of Applied Polymer Science*, v. 135, n. 21, p. 28–30, 2018.
- [12] BRANCHI, M. *et al.* Highly ion selective hydrocarbon-based membranes containing sulfonated hypercrosslinked polystyrene nanoparticles for vanadium redox flow batteries. *Journal of Membrane Science*, v. 563, n. May, p. 552–560, 2018.