

ENGENHARIA, GESTÃO E INOVAÇÃO

ORGANIZADOR
OSVALDO SENA GUIMARÃES



VOLUME

1



Editora Poisson



Oswaldo Sena Guimarães
(Organizador)

Engenharia, Gestão e Inovação Volume 1

1ª Edição

Belo Horizonte
Poisson
2022

Editor Chefe: Dr. Darly Fernando Andrade

Conselho Editorial

Dr. Antônio Artur de Souza – Universidade Federal de Minas Gerais
Msc. Davilson Eduardo Andrade

Dra. Elizângela de Jesus Oliveira – Universidade Federal do Amazonas
Msc. Fabiane dos Santos

Dr. José Eduardo Ferreira Lopes – Universidade Federal de Uberlândia

Dr. Otaviano Francisco Neves – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Dr. Luiz Cláudio de Lima – Universidade FUMEC

Dr. Nelson Ferreira Filho – Faculdades Kennedy

Msc. Valdiney Alves de Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57

Engenharia, Gestão e Inovação - Volume 1/
Organizador: Osvaldo Sena Guimarães
- Belo Horizonte - MG: Poisson, 2022

Formato: PDF

ISBN: 978-65-5866-159-7

DOI: 10.36229/978-65-5866-159-7

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

1. Engenharia 2. Educação. I. GUIMARÃES,
Osvaldo Sena II. Título.

CDD-620

Sônia Márcia Soares de Moura - CRB 6/1896



O conteúdo deste livro está licenciado sob a Licença de Atribuição Creative Commons 4.0.

Com ela é permitido compartilhar o livro, devendo ser dado o devido crédito, não podendo ser utilizado para fins comerciais e nem ser alterada.

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

www.poisson.com.br
contato@poisson.com.br

SUMÁRIO

Capítulo 1: Efeito da moagem sobre as fases do compósito Fe₃Al-Fe₃AlC_x..... 07

Maria Nalu Verona Gomes, Dalmarino Setti, Ramon Sigifredo Cortés Paredes

DOI: 10.36229/978-65-5866-159-7.CAP.01

Capítulo 2: Influência da adição de grafeno nas propriedades térmicas e mecânicas do Polietileno de Ultra Alta Massa Molar 14

Maria Edvania de Almeida Lima, Fabiana de Carvalho Fim

DOI: 10.36229/978-65-5866-159-7.CAP.02

Capítulo 3: Influência da quantidade de caulim e de agente compatibilizante no índice de fluidez de compósitos PEAD/Caulim 32

Márcio Alves de Lima, Cirlene Fourquet Bandeira, Izabel de Oliveira da Mota, Deisi Vieira Isquierdo, Maria Cristina Carrupt, Sérgio Roberto Montoro

DOI: 10.36229/978-65-5866-159-7.CAP.03

Capítulo 4: Automatização do projeto de reatores químicos via interfaces gráficas em VBA/Excel..... 37

Paulo Henrique Lucio, Guilherme Youssef Rodriguez

DOI: 10.36229/978-65-5866-159-7.CAP.04

Capítulo 5: Comportamento em fadiga de uma liga de alumínio aeronáutico 7475 T761 42

Marcelino Pereira do Nascimento

DOI: 10.36229/978-65-5866-159-7.CAP.05

Capítulo 6: Análise da fratura de um sistema de transporte de gás exposto em meios agressivos 48

Edson Carlos da Silva, Jorge Luiz Rosa, Camila Stephanie Gonçalves Ferreira, José Rubens de Camargo, Amir Rivaroli Junior, Emerson Augusto Raymundo

DOI: 10.36229/978-65-5866-159-7.CAP.06

Capítulo 7: Section Thickness Effects on Mechanical Properties of SiMo CGI for Turbocharger Housings 55

Wilson Luiz Guesser (in memoriam), Ângelo Carlos Gamba, Carlos de Souza Cabezas

DOI: 10.36229/978-65-5866-159-7.CAP.07

SUMÁRIO

Capítulo 8: Aplicação do Ruído Magnético de Barkhausen em aços inoxidáveis duplex.
..... 61

Elton Mesquita de Almeida

DOI: 10.36229/978-65-5866-159-7.CAP.08

Capítulo 9: Priorities Assessment for Nuclear Failure Mode Combining Expert's
Similarity Aggregation and Simulation of Choquet Integrals in a CPP Framework 66

Pauli Adriano de Almada Garcia, Luiz Octávio Gavião, Pedro Luiz da Cruz Saldanha,
Annibal Parracho Sant'Anna, Gilson Brito Alves Lima

DOI: 10.36229/978-65-5866-159-7.CAP.09

Capítulo 10: Avaliação do perfil de tensão de um sistema de geração distribuída
fotovoltaico-eólico: Estudo de caso 77

Nathalia Cristina Valadão Duarte, Mariana Moraes Oliveira Rocha, Márcio Zamboti
Fortes, Tiago Pires Abud, Letícia Fritz Henrique

DOI: 10.36229/978-65-5866-159-7.CAP.10

Capítulo 11: Critérios de projeto para geração de energia elétrica em bicicletas fixas
..... 90

Bruna Ribeiro Santos, Reginaldo Vagner Ferreira, Marcela Camargo Matteuzzo

DOI: 10.36229/978-65-5866-159-7.CAP.11

Capítulo 12: Protótipo de sistema móvel para automação da emissão de infrações de
trânsito 98

Letícia Souza Netto Brandi, Bruno Luciano Primesz Lauria, Reginaldo da Silva Leme

DOI: 10.36229/978-65-5866-159-7.CAP.12

Capítulo 13: Chatbot baseado em rede neural Long Short-Term Memory (LSTM): Um
estudo de caso baseado no livro William Shakespeare 111

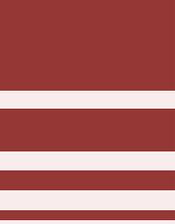
Dalcimar Casanova, Vagner Kaefer dos Santos, Vinícius Dalla Corte

DOI: 10.36229/978-65-5866-159-7.CAP.13

Capítulo 14: Simulação de cenários de IoT focada na segurança residencial e da
informação: Revisão da literatura..... 118

Ana Paula Medeiros Amarante, Cristhianne de Fátima Linhares de Vasconcelos, Valdemir
Praxedes da Silva Neto

DOI: 10.36229/978-65-5866-159-7.CAP.14



SUMÁRIO

Capítulo 15: Redes Neurais Artificiais: Uma visão histórica..... 123

Elias José de Rezende Freitas, Samara Silva Santos, Tamires Martins Rezende

DOI: 10.36229/978-65-5866-159-7.CAP.15

Autores:..... 139

Capítulo 1

Efeito da moagem sobre as fases do compósito $Fe_3Al-Fe_3AlC_x$

Maria Nalu Verona Gomes

Dalmarino Setti

Ramon Sigifredo Cortés Paredes

Resumo: Aluminetos de ferro do tipo Fe_3Al e $FeAl$ apresentam resistência a sulfidação e a oxidação a altas temperaturas apresentando-se como materiais adequados para substituir os aços inoxidáveis como revestimento. No entanto, no processamento para obter aluminetos na forma de pó tem sido relatados alterações nas fases presentes que podem afetar as propriedades finais dos revestimentos. O objetivo deste trabalho é avaliar o efeito do processo de moagem sobre as fases do compósito $Fe_3Al-Fe_3AlC_x$ quando submetidos ao processo de moagem. No desenvolvimento deste estudo foram utilizados pós micrométricos ($23 \mu m$) e nanométricos ($80 nm$) obtidos por moagem de alta energia. A caracterização foi feita por análise de Difração de Raios x com refinamento Rietveld, Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Microscopia Eletrônica de Transmissão (MET). A moagem a dimensões micro e nanométricas causou a redução gradativa da quantidade da fase Fe_3AlC_x e do parâmetro LRO.

Palavras-Chave: Alumínio de Ferro; Moagem; Fases B2, $D0_3$ e Fe_3AlC_x .

1. INTRODUÇÃO

Intermetálicos são compostos formados pela ligação entre metais com razão estequiométrica definida os quais formam uma classe ampla de materiais, cujas estruturas cristalinas são distintas daquelas dos seus metais constituintes, com ordenamento a longa distância ⁽¹⁾.

O intermetálico Fe₃Al é ordenado com estrutura cúbica D0₃. Esta superestrutura contém 8 células cúbicas de corpo centrado formada pelo entrelaçamento de 4 células de face centrada (CFC). A superestrutura D0₃ é composta 12 átomos de ferro e 4 átomos de Al, num total de 16 átomos ⁽²⁾. Em ligas binárias Fe-Al a transição entre a fase da estrutura ordenada Fe₃Al (D0₃) para a fase FeAl (B2) ocorre na faixa de 540 °C ⁽³⁾. O FeAl apresenta uma estrutura cúbica de corpo centrado (CCC). A estrutura B2 pode ser vista como 2 células cúbicas primitivas entrelaçadas com átomos de Fe ocupando os vértices da estrutura entrelaçada ⁽²⁾.

Aluminetos de ferro Fe₃Al e FeAl têm recebido especial atenção devido a suas propriedades a altas temperaturas, tais como resistência a oxidação ^(4,5), a carbonetação ⁽⁶⁾ e a sulfidação ⁽⁷⁾.

Adição de carbono ao Fe₃Al contribui no aumento da resistência mecânica a alta temperatura e redução da fragilidade ao hidrogênio ⁽⁸⁾. A adição de carbono proporciona ainda melhoria na resistência ao desgaste ⁽⁹⁾. Os benefícios fornecidos pela introdução de carbono são devidos a formação do carboneto Fe_{4-y}Al_yC_x em que 0,8 < y < 1,2 e 0 < x < 1 conhecido como fase κ ^(10,11) a qual apresenta estrutura cristalina similar a da Perovskita cúbica com estrutura espacial E2₁ ^(12,13).

Revestimentos de Fe₃Al-Fe₃AlC_x aplicados por Aspersão Térmica em materiais estruturais menos resistentes à oxidação e sulfidação podem ampliar a vida útil desses materiais. Para garantir o desempenho do revestimento é fundamental verificar se o processamento dos pós (moagem) para aspersão térmica não terá efeito sobre o ordenamento de longa distância dos intermetálicos. Deste modo o objetivo deste trabalho é avaliar o efeito do processo de moagem sobre as fases do compósito Fe₃Al-Fe₃AlC_x.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A composição química do compósito Fe₃Al-Fe₃AlC_x obtida após o processamento e solidificação é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição química do material base

Elemento	Fe	Al	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu
(% wt.)	81,813	16,590	0,964	0,305	0,105	0,034	0,012	0,089	0,088
(%at.)	67,28	28,238	3,686	0,499	0,088	0,050	0,017	0,079	0,064

O material obtido foi usinado em um centro de usinagem vertical Marca Veker modelo CVK-800 para obtenção de cavacos, os quais foram o ponto de partida para moagem em moinho atritor.

O cavacos foram reduzidos a dimensão micrométrica (-75µm +38 µm) em um moinho de bolas tipo *Attritor*, construído na UTFPR - Campus Pato Branco. O moinho foi confeccionado com aço 1020 cementado e temperado dureza, com haste de aço 4340 temperado e revenido e jarro de moagem de 200 cm³ de capacidade. Utilizou-se 21 gramas de cavaco, relação massa bolas/massa material de 17/1, esferas de 6 mm, rotação de 600 rpm e tempo total de moagem de 45 minutos.

O pó micrométrico foi submetido a uma moagem de alta energia a seco para obtenção do pó nanométrico. O equipamento utilizado, nesta etapa, foi um moinho de esferas, de alta energia, do tipo ATRITOR, modelo 01-HD da Union Process. O jarro em aço inoxidável AISI 316, com capacidade de 750 cm³ com sistema de refrigeração por água. As hastes de aço inoxidável com de braços de liga de níquel Colmonoy. Utilizou-se 100 gramas de pó micrométrico, relação massa bolas/massa material de 20/1, esferas de 6,35 mm, rotação de 600 rpm e tempo de moagem de 12 horas.

As imagens dos pós micro e nano foram obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) com os equipamentos ZEISS EVO MA15 e FEI Quanta 450 FEG com resolução de 1nm. O pó nanométrico também foi avaliado por Microscopia Eletrônica de Transmissão (MET). A análise foi realizada em um equipamento

JEOL JEM 1200 EX-II (CME-UFPR). Na análise das imagens foi utilizado o *software* Image J.

As fases foram determinadas por difração de raios-x. O equipamento utilizado foi um difratômetro Shimadzu XRD 7000. Os parâmetros de operação foram: tensão de 40 kV, corrente de 30 mA, abertura de 1 mm, alvo de Cu $K\alpha = 0,15406 \text{ \AA}$, varredura contínua com *step* de $0,02^\circ$ e velocidade angular de $0,16^\circ/\text{minuto}$.

No desenvolvimento do refinamento pelo método de Rietveld utilizou-se o *software* Xpert Plus versão 3.0. Os dados necessários ao refinamento das fases foram obtidos das cartas cristalográficas ICSD - 165164 para o FeAl⁽¹⁴⁾, ICSD 607484 para o Fe₃Al⁽¹⁵⁾ e ICDS 43853 para o Fe₃AlC⁽¹⁶⁾.

A determinação do parâmetro de *long-range order* (LRO) foi realizada com base na equação (A)⁽¹⁷⁾.

$$\text{LRO} = \left[\frac{(I_s/I_F)_{\text{Des}}}{(I_s/I_F)_{\text{Ord}}} \right]^{1/2} \quad (\text{A})$$

Em que $(I_s/I_F)_{\text{Des}}$ e $(I_s/I_F)_{\text{Ord}}$ é a razão das intensidades de reflexão entre um plano da superestrutura em relação a um plano fundamental no estado desordenado e no estado de referência, respectivamente.

Para o Fe₃Al (D0₃) os planos da superestrutura analisados foram o (111) e (311) e o plano fundamental (220) o material de referência adotado foi o material solidificado.

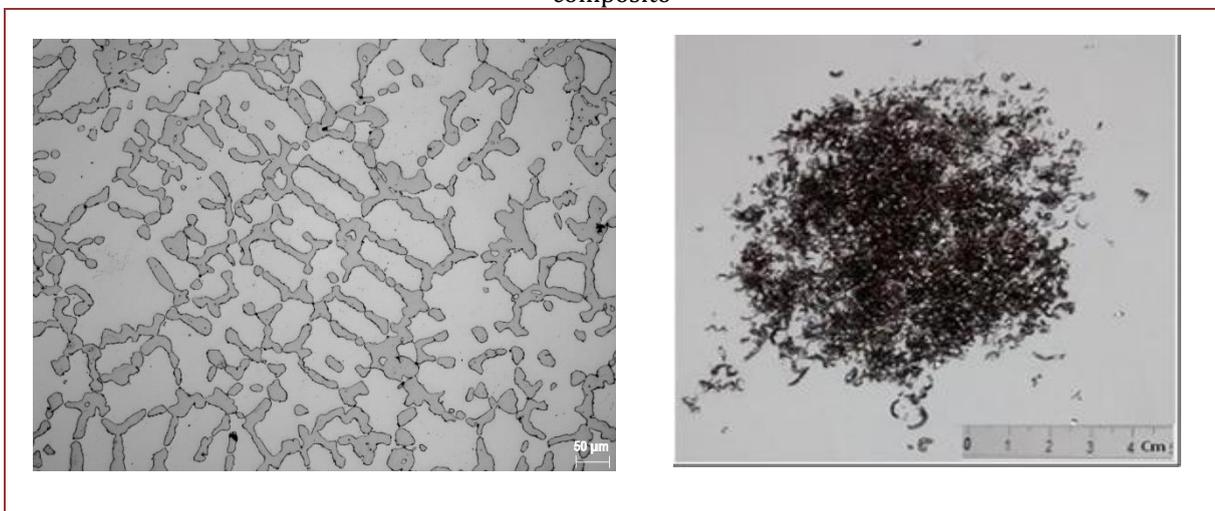
Para o Fe₃AlC_x E2₁ o plano da estrutura avaliado foi o (311) e plano fundamental foi (200) o material de referência adotado foi o material solidificado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 1a mostra a microestrutura do compósito Fe₃Al-Fe₃AlC_x. Pode-se observar que a microestrutura é composta por duas fases e pequena quantidade de poros. A fase clara (matriz) é o Fe₃Al e a fase escura (interdendrítica) é o Fe₃AlC_x, as fases foram identificadas por difração de raios-x (Tabela 2). Com base na análise das micrografias determinou-se o valor de 65,54% para o Fe₃Al e 35,46% para o Fe₃AlC_x com 4,30% de desvio padrão.

Devido a dureza associada a alta tenacidade do compósito, a usinagem com fresa para obtenção de cavacos pequenos, para posterior moagem foi o procedimento utilizado, outros autores utilizaram a mesma rota no processamento de intermetálicos de Fe-Al⁽¹⁸⁾. A figura 1b apresenta os cavacos obtidos após usinagem.

Figura 1a - microestrutura do compósito Fe₃Al-Fe₃AlC_x solidificado. **1b** - cavacos obtidos da usinagem do compósito

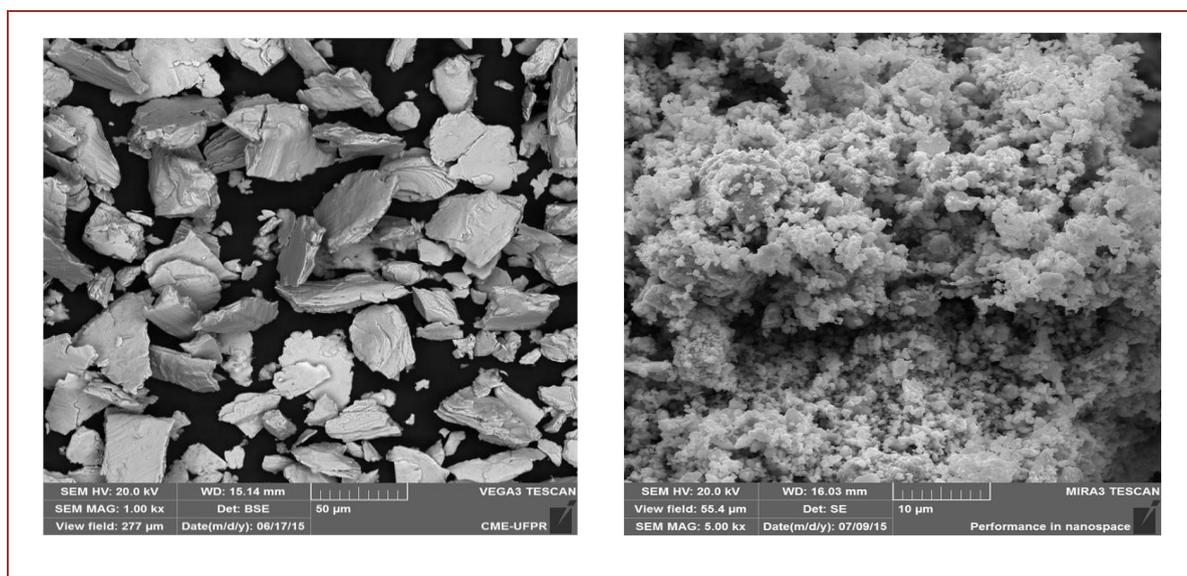


As figuras 2a e 2b mostram a morfologia dos pós micrométrico e nanométrico respectivamente. As partículas do pó micrométrico se apresentam na forma de flocos, achatados, com espessura variando entre $4,8 \mu\text{m}$ e $25,0 \mu\text{m}$. Por meio de análise da imagens com *software* Image J determinou-se o diâmetro de

Feret médio de 23,32 μm com desvio padrão de 15,09 μm .

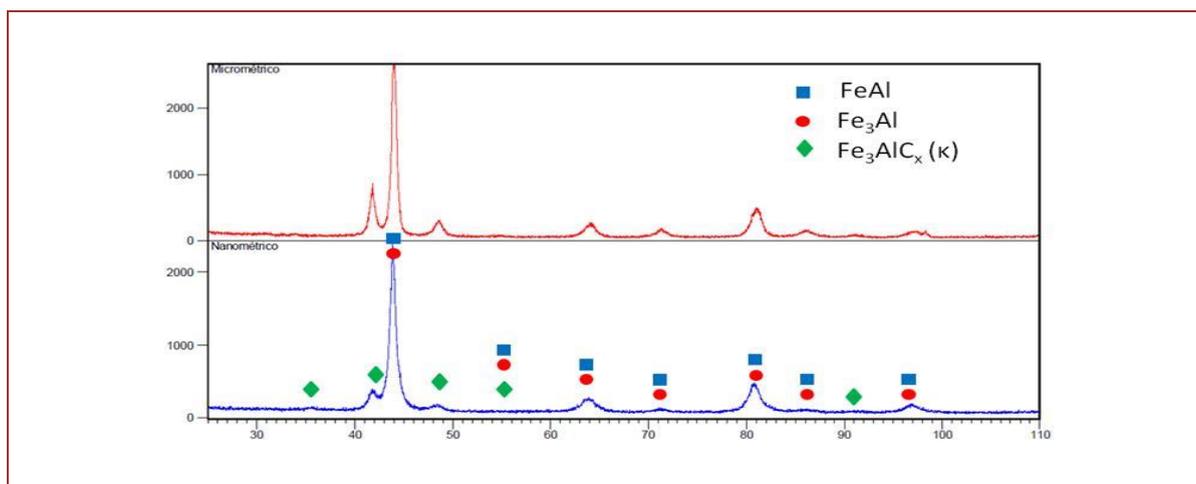
As partículas nanométricas (Figura 2b) apresentam aglomeração o que dificulta a medição do tamanho de partículas por meio de tratamento de imagem. Para efetuar a medição, foi feita uma dispersão em etanol para análise por Microscopia Eletrônica de Transmissão (MET) e auxílio do *software* Image J. As partículas nanométricas apresentam tamanhos variados com diâmetro de Feret médio de 80,02 nm, desvio padrão de 37,9 nm, espessura entre 10 e 14 nm.

Figura 2a –MEV do pó micrométrico. **2b** - MEV - FEG do pó nanométrico



Os difratogramas para os pós micro e nanométricos são apresentados na Figura 3 e os resultados do refinamento pelo método Rietveld e análise do parâmetro LRO são apresentados na Tabela 2.

Figura 3– Difratogramas para os pós micro e nano do composto $\text{Fe}_3\text{Al}-\text{Fe}_3\text{AlC}_x$



Os difratogramas dos pós micrométricos e nanométricos e os resultados obtidos com o refinamento de Rietveld indicaram a presença da fase B2 (FeAl) além das fases Fe_3Al e Fe_3AlC_x . Como os picos da fase FeAl coincidem com os picos da fase Fe_3Al em ligas com a presença de ambas as fases, determinar a quantidade de cada uma delas a partir de difratogramas de raios-X se torna muito difícil ⁽¹⁹⁾. A transformação B2 \rightarrow D03 é uma transição de fase de segunda ordem, deste modo, um campo com as duas fases não pode existir em um diagrama Fe-Al binário. Outro fator que dificulta a coexistência das fases B2 + D03 é a velocidade extremamente elevada desta transformação ⁽²⁰⁾.

Uma possível explicação para o aparecimento da fase B2 no pó micrométrica pode ser elaborada a partir dos resultados relatados no trabalho de Ma *et al* (2008) ⁽²⁰⁾, estes autores relataram a coexistência das fases B2 e D0₃ para zona termicamente afetada (ZTA) de uma junta soldada de Fe₃Al com Aço inox Cr25-Ni13. As condições observadas para a coexistência das B2 e D0₃ no trabalho destes autores ZTA de uma junta soldada (até 700°C) com alta densidade de discordâncias são similares as condições que se pode obter com a moagem de alta energia em moinho Attritor. O aquecimento promovido pelo atrito associada a baixa condutividade do Fe₃Al ⁽²⁰⁾ podem produzir pontos localizados com temperatura acima dos 540°C que a temperatura de transição D0₃ → B2, juntamente com alta densidade de discordâncias promovidas pela deformação plástica resultante da moagem podem ser as causas para a detecção da fase B2 após a moagem micrométrica. Estudos adicionais serão desenvolvidos para verificar esta suposição.

Em relação ao desaparecimento da fase B2 no pó nanométrico o efeito do desordenamento causado pela moagem de alta energia na superestrutura B2 tem sido relatada por diferentes autores ^(15, 18). No trabalho de Gialanella (1995) ⁽²¹⁾ com pó intermetálico FeAl (B2) como única fase a análise de difração de raios-X revelou o após a moagem, uma diminuição progressiva da intensidade dos picos da superestrutura B2; após 8 horas de moagem o pó estava completamente desordenado nas condições experimentais adotadas no estudo. Como o tempo para a moagem a pó nanométrico foi de 12 horas, condições que são adequadas ao completo desordenamento da estrutura B2.

Tabela 2 – Quantidade das fases, índices do refinamento pelo método Rietveld e parâmetro LRO

Condição	Fase	Quantidade (%)	LRO	Índices do Refinamento		
				R _{wp}	R _{esp}	GOF
Pó Micro	Fe ₃ Al	65,30	**			
	Fe ₃ AlC _x	27,70	0,734	15,38	8,79	1,75
	FeAl	7,00	**			
Pó Nano	Fe ₃ Al	86,90	**			
	Fe ₃ AlC _x	12,80	0,588	15,63	9,09	1,72
	FeAl	0,30	**			

R_{wp} = índice ponderado; R_{esp} = índice esperado; GOF = *goodness-of-fit*

Com relação aos valores dos índices R_{wp}, R_{esp} e GOF apresentados na Tabela 2, Os valores obtidos para o índice R_{wp} encontram-se dentro do aceitável para difração de raios-x (10% a 20%) o valor de GOF encontra-se no limite do aceitável (1,7) em função da complexidade do sistema em estudo de acordo com a literatura, pode-se considerar qualidade dos refinamentos como aceitável ⁽²²⁾.

Os parâmetros LRO não puderam ser convenientemente avaliados para as fases B2 e D0₃. Para a fase B2 no material solidificado esta fase não foi identificada, deste modo não existe a referência para comparação. Outro fator é que um dos principais planos utilizados na identificação da superestrutura B2 (100) o qual coincide com o plano (200) do Fe₃Al, o que inviabiliza a sua utilização. Em relação ao Fe₃Al (D0₃) os planos (111) e (311) mostraram intensidades muito baixas, e como apenas os planos com soma dos índices de Miller (hkl) ímpar é que são exclusivos da superestrutura D0₃ ⁽²³⁾, não foi possível realizar avaliação do parâmetro LRO.

A fase κ Fe₃AlC_x sofreu um efeito progressivo de redução da quantidade 27,70% para o pó micrométrico e 12,80% para o pó nanométrico. O parâmetro ordenamento desta fase medido pelo LRO também apresentou redução significativa, o que poderia indicar a perda da estrutura E21. Uma das possíveis explicações para a redução do LRO é a perda do carbono e a transformação em Fe₃Al com estrutura L12, Besson e Legris (2008) ⁽²⁴⁾ que estudaram o diagrama Fe-Al-C por meio de cálculos termodinâmicos relataram que o carbono estabiliza a fase Fe₃Al com estrutura L12, e que esta tende a formar uma solução sólida com a fase κ. Estudos complementares necessitam ser realizados para determinar o mecanismo e o resultado do desordenamento da fase Fe₃AlC_x.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos a partir da caracterização com análise de difração de raios x com refinamento pelo método Rietveld e análise do parâmetro LRO utilizados para avaliar os efeitos da moagem sobre fases do compósito $\text{Fe}_3\text{Al}-\text{Fe}_3\text{AlC}_x$ permitem ressaltar os seguintes pontos conclusivos:

Foi observada a presença da fase B2 correspondente ao intermetálico FeAl no pó micrométrico.

A moagem a dimensões nanométricas praticamente eliminou a fase B2 presente.

A moagem a dimensões micro e nanométricas causou a redução gradativa da fase Fe_3AlC_x e o parâmetro LRO apresentou a mesma tendência de redução.

REFERÊNCIAS

- [1] SAUTHOFF, G. Intermetallics. Weinheim: VCH, 1995. p. 1.
- [2] CINCA, N., LIMA, C. R. C., GUILLEMANY, J. M. An overview of intermetallics research and application: Status of thermal spray coatings. *Journal of Materials Research and Technology*, v. 2, n. 1, p. 75-86, 2013.
- [3] FORTNUM, R. T.; MIKKOLA, D. E. Effects of Molybdenum, Titanium and Silicon Additions on the D03 \leftrightarrow B2 Transition Temperature for Alloys near FeAl. *Materials Science and Engineering*, v.91, p. 223-231, 1987.
- [4] STOLOFF, N. S. Iron aluminides: present status and future prospects. *Materials Science and Engineering A*, v. 258, p. 1-14, 1998.
- [5] HALFA, H. Oxidation Behavior of Fe3Al-5Cr- (0, 0.5, 1.5) Ti Alloys at Temperature Ranges from 800 °C to 1200 °C, *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, v. 9, p. 775 – 786, 2010.
- [6] DEEVI, S. C., SIKKA, V. K. Nickel and iron aluminides: an overview on properties, processing, and applications. *Intermetallics*, v. 4, p. 357-375, 1996.
- [7] SZCZUCKA-LASOTA, B., FORMANEK, B., HERNAS, A., Growth of corrosion products on thermally sprayed coating with FeAl intermetallic phases in aggressive environments. 13th international scientific conference on achievements in mechanical and materials engineering. COMMENT - Worldwide Congress on Materials and Manufacturing Engineering and Technology. Poland, 2006.
- [8] RAO, V. S. $\text{Fe}_3\text{Al}-\text{Fe}_3\text{AlC}$ Intermetallics for High Temperature Applications: An Assessment. *Journal of Materials Science*, v. 39, p. 4193–4198, 2004.
- [9] ZHU, S.M.; SHIBATA, K.; GUAN, X.S.; IWASAKI, K. Effect of Carbon Addition on with increasing carbon content. *Metallurgical and Materials Transactions A*, v. 33A, p. 1292–1295, 2002.
- [10] BALIGIDAD, R.G.; PRAKASH, U.; KRISHNA, A. R. Thermal stability and elevated temperature mechanical properties of electro slag remelted Fe- 16wt.%Al--(0.14-0.5)wt.%C intermetallic alloys. *Materials Science and Engineering A*, v. 230, p. 188-193, 1997.
- [11] A. SCHNEIDER, A.; FALAT, L.; SAUTHOFF, G.; FROMMEYER, G. Microstructures and mechanical properties of Fe_3Al -based Fe-Al-C alloys. *Intermetallics*, v. 13, p. 1322-1331, 2005.
- [12] ANDRYUSHCHENKO, V. A.; GAVRILYUK, V. G.; NADUTOV, V. M. Atomic and magnetic ordering in the κ -phase of Fe-Al-C alloys. *The Physics of Metals and Metallography*, v.60, p. 50-55, 1985.
- [13] CONNÉTABLE, D.; MAUGIS, P. First principle calculations of the κ - Fe_3AlC perovskite and iron-aluminium intermetallics. *Intermetallics*, v. 16, p. 345-352, 2008.
- [14] STEIN, F. VOGEL, S. ERMANN, H., PALM, M. Determination of the crystal structure of the epsilon phase in the Fe-Al system by high temperature neutrons diffractions. *Intermetallic*, 2010.
- [15] BUSCHOW, K., VAN ENGER, P., JONGEBREUR, R. Magneto optical of proprties of mettalic feromagnitic materials. *Journal of magnetism and magnetic materials*, 1983.
- [16] PALATINIK, L. TANANKO, I. BOBRA, Y. On the nature of the epsilon phase in Iron Aluminade Carbon alloys. *Kristalografya*, 1964.
- [17] BAKKER, H.; ZHOU, G. F.; YANG, H. Mechanically driven disorder and phase transformations in alloys. *Progress in Materials Science*, v. 39, p. 159-241, 1995.
- [18] VARIN, R.A.; BYSTRZYCKI, J.; CALKA, A. Characterization of Nanocrystalline Fe-45at% Al Intermetallic Powders by Controlled Ball Milling and the Influence of Annealing. *Intermetallics*, v. 7, p. 917-930, 1999.
- [19] LEGARRA, E.; APIÑANIZ, E.; PLAZAOLA, F. Magnetic study of the influence of Si/Al substitution in ordered $\text{Fe}_{75}\text{Al}_{25}$, $\text{Fe}_{70}\text{Al}_{30}$ and $\text{Fe}_{60}\text{Al}_{40}$. *Intermetallics*, v. 18, p. 1288-1292, 2010.

- [20] MA, H. ; LI, Y. ; GERASIMOV, S.A.; WANG, J.; SUN, X. Investigation of transformation models of B2→D0₃ ordered structures for Fe₃Al intermetallic under welding condition. *Materials Letters*, v. 62, p. 1953-1956, 2008.
- [21] GIALANELLA, S. FeAl alloy disordered by ball-milling. *Intermetallics*, v. 3, p. 73-76, 1995.
- [22] GIACOVAZZO, C.; MONACO, H. L.; VITERBO, D. ; SCORDARI, F. ; GILLI, G.; ZANOTTI, G.; CATTI, M. *Fundamentals of Crystallography*, Oxford: Science Publications, 1992, p. 109-140.
- [23] KIM, S. M.; MORRIS, D. G. Long range order and vacancy properties in al-rich Fe₃Al and Fe₃Al(Cr) alloys. *Acta Materialia*, v. 46, p.2587-2602, 1998.
- [24] BESSON, R.; LEGRIS, A. Atomic-scale study of low-temperature equilibria in iron-rich Al-C-Fe. *Physical Review B*, v. 78, p.14204-14204-11, 2008.

Capítulo 2

Influência da adição de grafeno nas propriedades térmicas e mecânicas do Polietileno de Ultra Alta Massa Molar

Maria Edvania de Almeida Lima

Fabiana de Carvalho Fim

Resumo: Grafeno, obtido a partir da esfoliação ultrassônica, foi utilizado como carga para obtenção de nanocompósitos poliméricos de Polietileno de Ultra Alta Massa Molar/Nanolâminas de Grafeno (PEUAMM/NG). A obtenção de grafeno foi confirmada pelas análises de difratometria de raios-X (DRX) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). As propriedades dos nanocompósitos foram analisadas por Calorimetria Diferencial Exploratória (DSC) e por Análise Termogravimétrica (TGA). Os resultados mostraram que a adição das nanolâminas no PEUAMM aumentou a estabilidade térmica e a cristalinidade do polímero, entretanto as temperaturas de transições térmicas praticamente não foram alteradas. Já nas propriedades mecânicas, houve diminuição na resistência à tração com a adição da carga na matriz polimérica. Já a microdureza dos nanocompósitos mostrou aumento de 50 a 100% nos valores. Os nanocompósitos de PEUAMM/NG tornaram-se mais rígidos, com maior dureza e mais termicamente estáveis.

Palavras-chave: Grafeno, Nanocompósitos poliméricos, Nanolâminas de Grafeno.

1. INTRODUÇÃO

Os últimos anos do século XX e iniciais do século XXI foram marcados pelo surgimento, consolidação e crescimento vertiginoso dos nanomateriais. A Comissão Europeia define um nanomaterial:

“um material natural, incidental ou manufaturado contendo partículas não ligadas entre si ou em agregados ou formando aglomerados nos quais a distribuição de tamanho apresenta 50% ou mais dessas partículas com uma ou mais dimensões externas no intervalo entre 1nm e 100nm.” (European Commission, 2016).

A grafite é uma das formas alotrópicas do Carbono, conhecida há décadas – constituída pelo empilhamento de lâminas (camadas) de grafeno. Já o grafeno, recém-conhecido, foi isolado há pouco tempo e apresenta propriedades únicas muito interessantes para utilização em estudos das engenharias (Geim, 2004). Para se obter grafeno a partir da grafite, esta deve ser submetida a tratamentos químicos e/ou físicos, objetivando o isolamento do menor número possível de lâminas de grafeno empilhadas. O grafeno foi isolado pela primeira vez em 2004, por Andre Geim e Konstantin Novoselov, na Universidade de Manchester, Reino Unido (Novoselov, *et al.*, 2004).

O Polietileno de Ultra Alta Massa Molar (PEUAMM) é um polímero de elevada densidade, branco opaco, com propriedades únicas (Coutinho, 2003). Este polímero, por seu peso molecular elevado, é processado pelo método de moldagem por compressão ou prensagem. (CPPP, 2000).

Nanocompósitos poliméricos são materiais formados por matriz polimérica e cargas reforçantes – em que pelo menos uma das suas dimensões esteja em escala nanométrica. Geralmente, o nanocompósito apresenta propriedades melhoradas em relação aos polímeros/matrizes puras (Ahmadi, 2014). As nanocargas têm representado uma alternativa atraente para serem usadas como carga em polímeros. A diferença entre as propriedades geradas por cargas maiores e nanocargas é explicada porque esta última tem pelo menos uma dimensão na gama dos nanômetros, o que a faz gerar propriedades maiores devido ao grau de interação carga-matriz (Jiang e Drzal, 2012).

Estudos desde o início do século XXI concluem que os nanomateriais utilizados como carga são reforços mais eficazes do que os seus homólogos convencionais (quando não estão em dimensão nanométrica), isto por causa das dimensões que podem resultar no aumento das propriedades mecânicas, elétricas e térmicas da matriz polimérica (Piggott, 2001; Hussain *et al.*, 2006).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 PREPARAÇÃO DAS NANOLÂMINAS

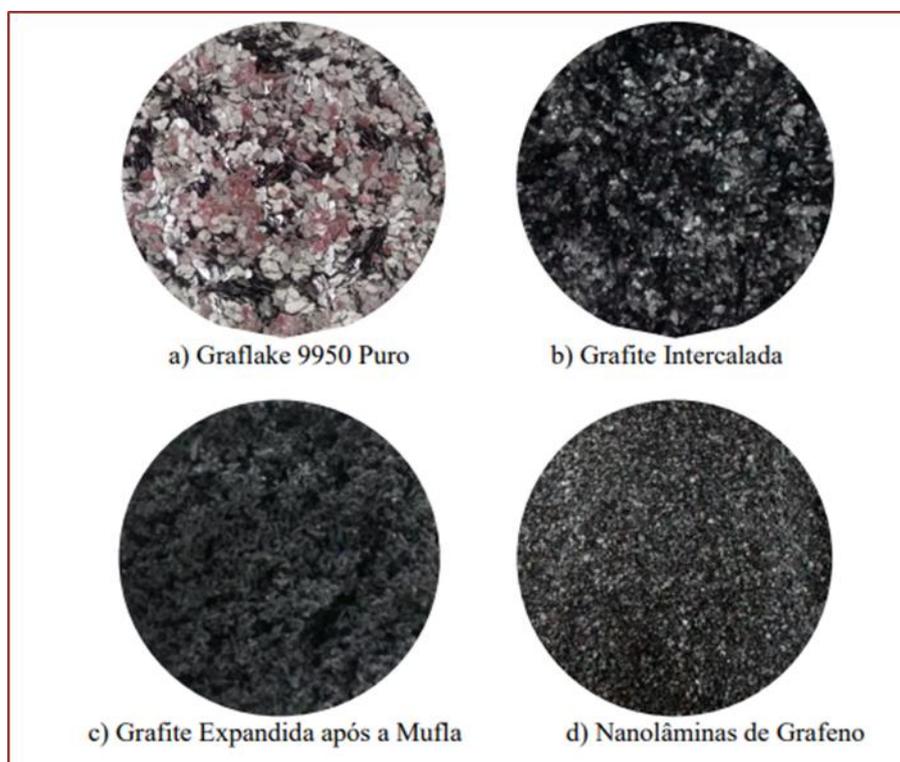
Os materiais da Tabela 1 foram utilizados nas etapas de Preparação das Nanolâminas de Grafeno – Tabela 2, e, posteriormente, para preparação dos nanocompósitos. O Graflake 9950 puro foi tratado pelo método de esfoliação química: mantida em agitação magnética por 24 horas, em temperatura ambiente, até obter-se a grafite intercalada, que foi lavada até atingir pH neutro. Por fim, colocada na estufa a 110°C por 24 horas até secagem total. Em uma Mufla, a 1050°C, foi que a Grafite Intercalada expandiu, originando as partículas de dimensões micrométricas da Grafite Expandida. Esta, foi submetida a banho de ultrassom por 20 horas para obtenção das Nanolâminas de Grafeno (NG). Finalmente, o material foi lavado e seco em estufa a 110°C durante 48 horas. As imagens de todos os materiais obtidos a cada etapa podem ser visualizadas na Figura 1.

Tabela 1. Materiais utilizados

Material	Origem
Graflake 9950	Nacional de Grafite Ltda. (pureza: 99,44%)
PEUAMM - UTEC 3041	Braskem (em forma de pó)
Ácido Nítrico (HNO ₃ - 65%)	LabSynth®
Ácido Sulfúrico (H ₂ SO ₄ - 95-98%)	LabSynth®
Etanol	Itajá

Tabela 2. Etapas de Preparação das Nanolâminas de Grafeno (NG)

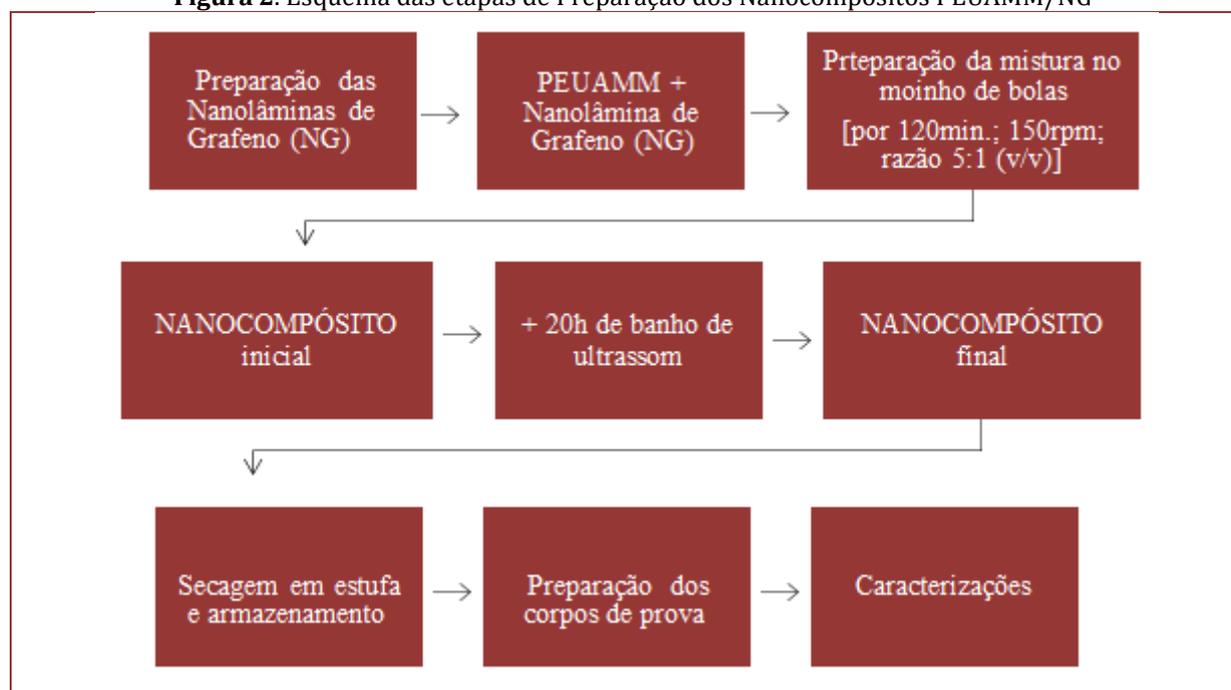
Graflake	Tratamento Característico
Grafite Natural	Sem tratamento - floco natural
Grafite Intercalada	Após tratamento com os ácidos Nítrico e Sulfúrico
Grafite Expandida	Após o tratamento em mufla por 30s a 1050°C
Nanolâminas de Grafeno	Após banho de ultrassom por 20 horas

Figura 1. Imagens dos materiais obtidos a cada etapa de preparação

2.2. PREPARAÇÃO DOS NANOCOMPÓSITOS

A matriz dos nanocompósitos foi o Polietileno de Ultra Alta Massa Molar (PEUAMM). As Nanolâminas de Grafeno (NG) foram adicionadas à matriz na forma de pó com auxílio do moinho de bolas Figura 2.

Figura 2. Esquema das etapas de Preparação dos Nanocompósitos PEUAMM/NG



2.3. PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Os corpos de prova dos nanocompósitos foram obtidos pelo método de moldagem por compressão em prensa hidráulica a 200°C e com os percentuais e respectivos ciclos de prensagem mostrados na Tabela 3.

Tabela 3. Corpos de prova obtidos e ciclos de prensagem

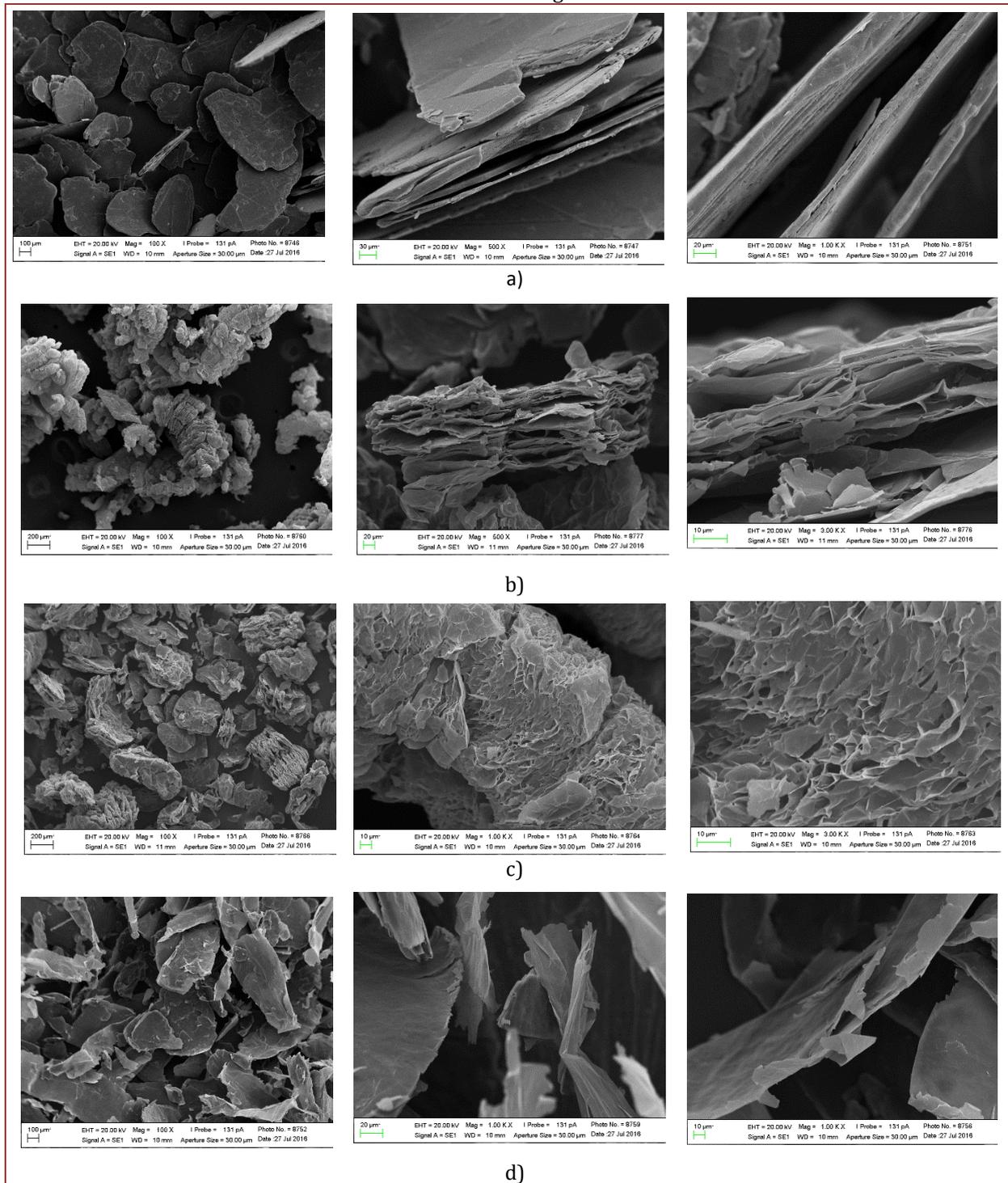
Nanocompósito	Ciclo de Prensagem				
	2 min.	2 min.	2 min.	2 min.	2 min.
PEUAMM + 0,125%NG	Sem Pressão	3 Ton.	6 Ton.	9 Ton.	12 Ton.
PEUAMM + 0,250%NG		3 Ton.	6 Ton.	9 Ton.	12 Ton.
PEUAMM + 0,375%NG		3 Ton.	6 Ton.	9 Ton.	12 Ton.
PEUAMM + 0,500% NG		3 Ton.	6 Ton.	9 Ton.	12 Ton.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. OBTENÇÃO DAS NANOLÂMINAS

Na Figura 3 estão representadas as imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do floco de grafite natural e após os tratamentos. A grafite é formada, basicamente, pelo empilhamento das camadas de hexágonos de carbono unidos por ligações fracas. Logo, nas imagens pode-se verificar que houve o aumento da distância entre essas camadas quando comparamos a grafite natural e as grafites tratadas, até a obtenção das nanolâminas.

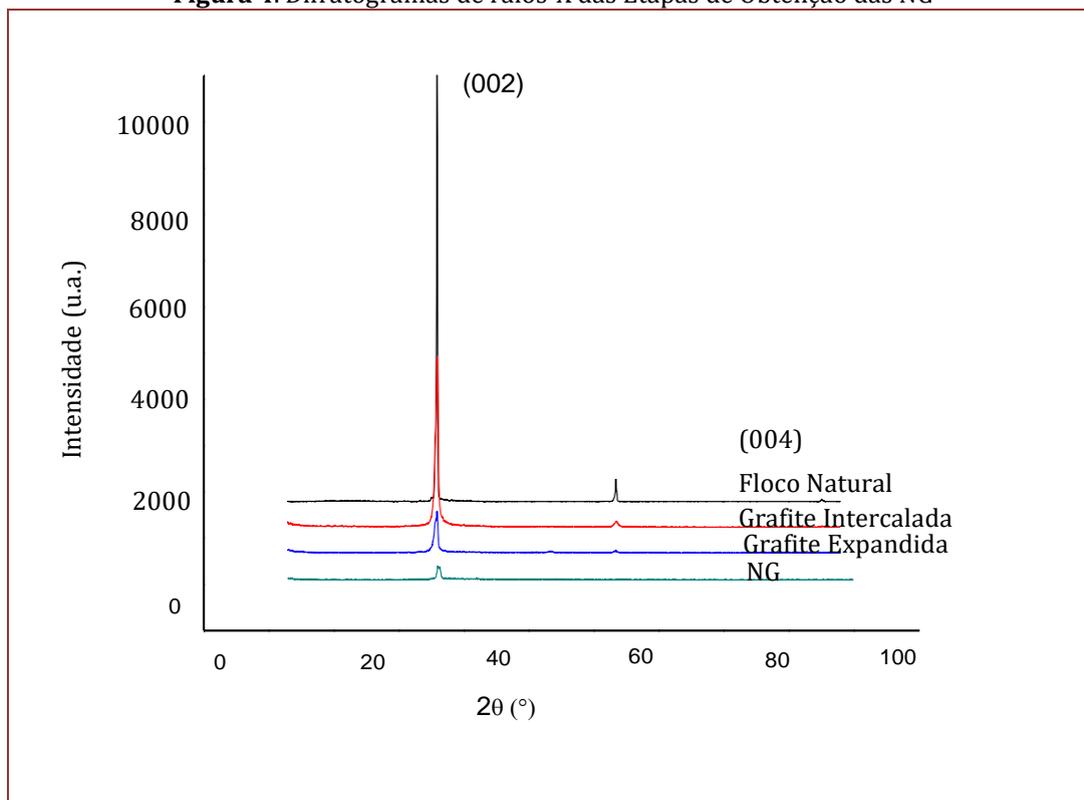
Figura 3. Imagens de MEV: a) Floco de grafite natural; b) Grafite intercalada; c) Grafiteexpandida e d) Nanolâminas de grafeno



O floco de grafite natural se apresenta como uma lâmina de grafeno espessa, como vista na Figura 3 a. Nela, é difícil distinguir o número de lâminas que estão empilhadas em uma camada. Quando esse floco é submetido a um tratamento ácido, que insere entre as lâminas de grafeno grupos oxigenados, obtém-se a grafite intercalada (Figura 3 b); ali nota-se que houve uma leve separação entre as lâminas, confirmando a introdução dos grupos oxigenados. Já quando submetidos à mufla, os grupos oxigenados gaseificam e deixam espaços vazios entre as lâminas de grafeno expandindo-os, o que confere um aumento mais efetivo da separação dessas lâminas, como representado na Figura 3 c. Após exposição da grafite expandida a um banho de ultrassom, durante 20 horas, a agitação ultrassônica destrói ainda mais o empilhamento das lâminas restantes, obtendo-se assim as Nanolâminas de Grafeno (Figura 3 d).

Nas imagens de MEV é possível verificar que houve separação entre as lâminas de grafeno como resultado dos tratamentos e da energia vibracional ultrassônica à qual a grafite foi submetida. Tal resultado é possível porque as lâminas de grafeno estão unidas (empilhadas) por ligações secundárias de van der Waals, que com o passar das etapas de preparação e obtenção do grafeno, vão sendo rompidas.

Figura 4. Difratogramas de raios-X das Etapas de Obtenção das NG



A Figura 4 mostra o resultado da difratometria de raios-X (DRX) das estruturasgráficas em todas as suas etapas – desde o floco de grafite natural, passando pela intercalação e expansão até a obtenção das NG.

Nos difratogramas observa-se a presença dos picos referentes aos planos cristalinos (002) e (004) em aproximadamente 26° e 54°, característicos da grafite (Fim, 2012). O espaçamento entre as lâminas encontradas na grafite é de aproximadamente 3,35 Å (Gopakumare Pagé, 2004).

A Tabela 4 apresenta os dados extraídos dos difratogramas da Figura 4, o ângulo de difração referente ao plano (002) e a distância interlamelar calculada a partir da lei de Bragg.

Tabela 4. Ângulo de difração (2θ) do plano (002) e distância interlamelar (d₀₀₂) do floco de grafite natural, da grafite intercalada, da grafite expandida e das NG

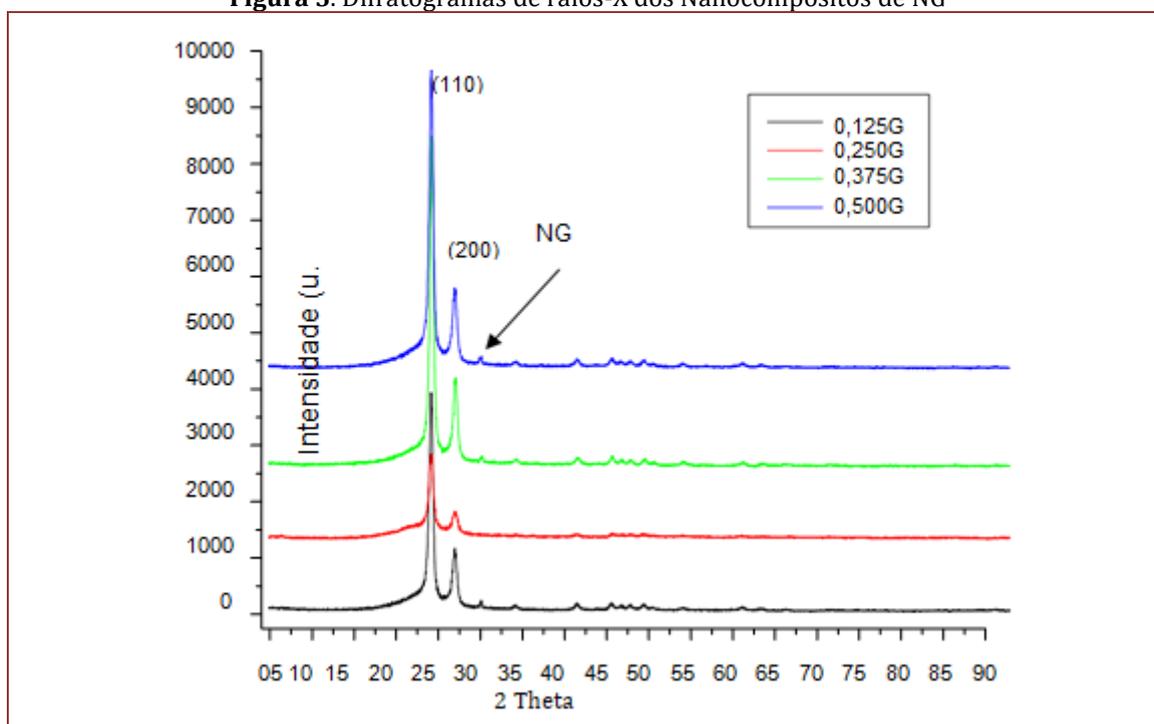
Amostra	2θ (°)	d ₀₀₂ (nm)
Floco de grafite natural	26,59	0,3348
Grafite intercalada	26,48	0,3362
Grafite expandida	26,44	0,3367
NG	26,25	0,3391

De acordo com a Tabela 4, a sequência dos tratamentos químicos, térmicos seguidos do banho de ultrassom aumentou a distância interlamelar da grafite, isto é, a distância entre as lâminas de grafeno. O que pôde ser percebido visualmente nas imagens de MEV das etapas de preparação das Nanolâminas de Grafeno (Figura 3).

3.2. OBTENÇÃO DOS NANOCOMPÓSITOS

A Figura 5 mostra o resultado da difratometria de raios-X (DRX) dos nanocompósitos poliméricos nos percentuais estudados. Nos difratogramas observa-se a predominância dos picos referentes aos planos cristalinos (110) e (200) em aproximadamente 21,5° e 23,8°, respectivamente, característicos do PEUAMM em sua estrutura de célula ortorrômbica.

Figura 5. Difratogramas de raios-X dos Nanocompósitos de NG



A Tabela 5 apresenta os dados extraídos dos difratogramas da Figura 5, os ângulos de difração referente aos planos (110) e (200) e a distância interlamelar calculada a partir da lei de Bragg. Pode ainda ser visto a difração referente ao plano (002), oriundo da estrutura grafitica.

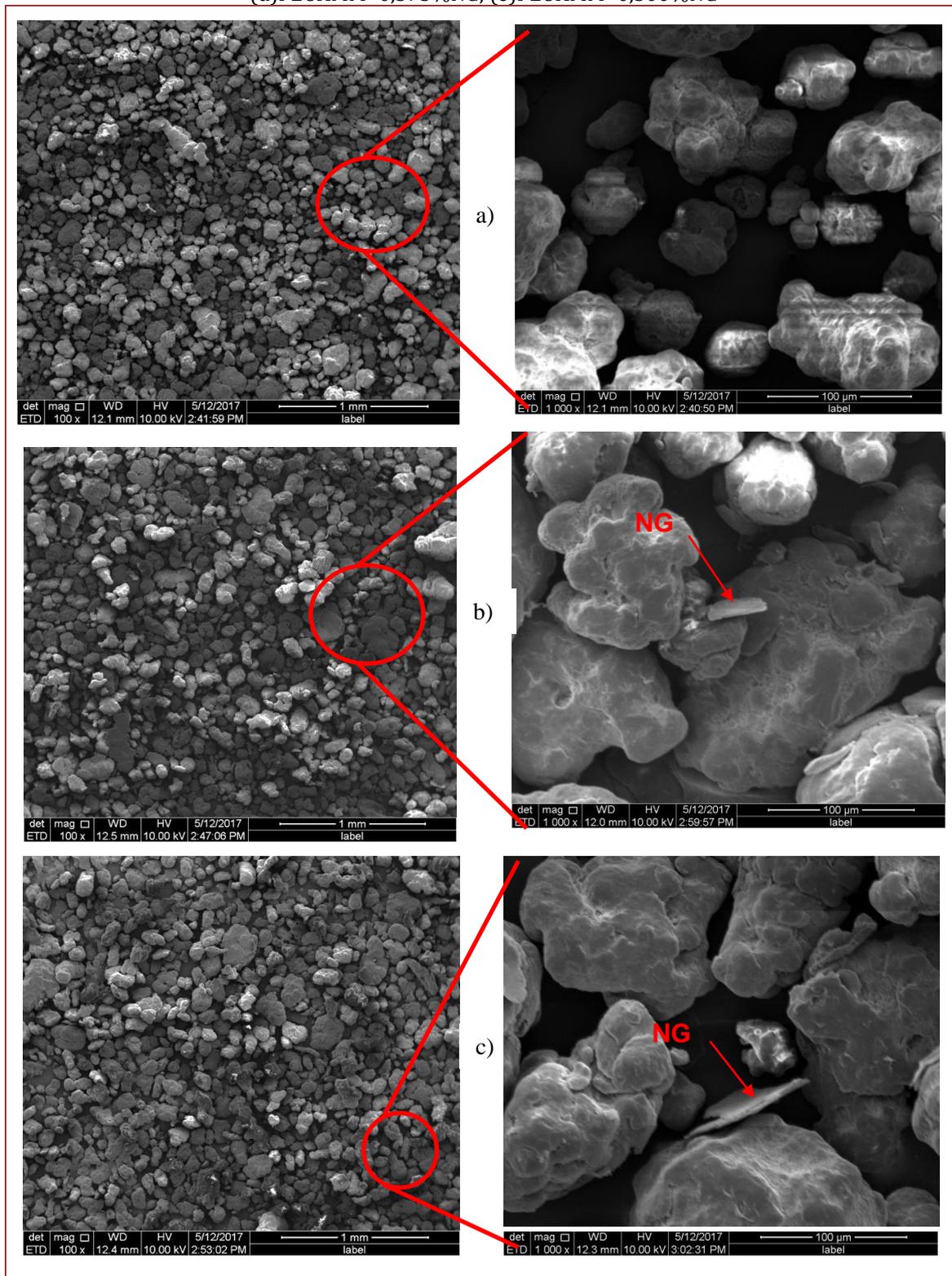
Tabela 5. Ângulo de difração (2θ) dos planos (110), (200) e (002) e distância interlamelar d .

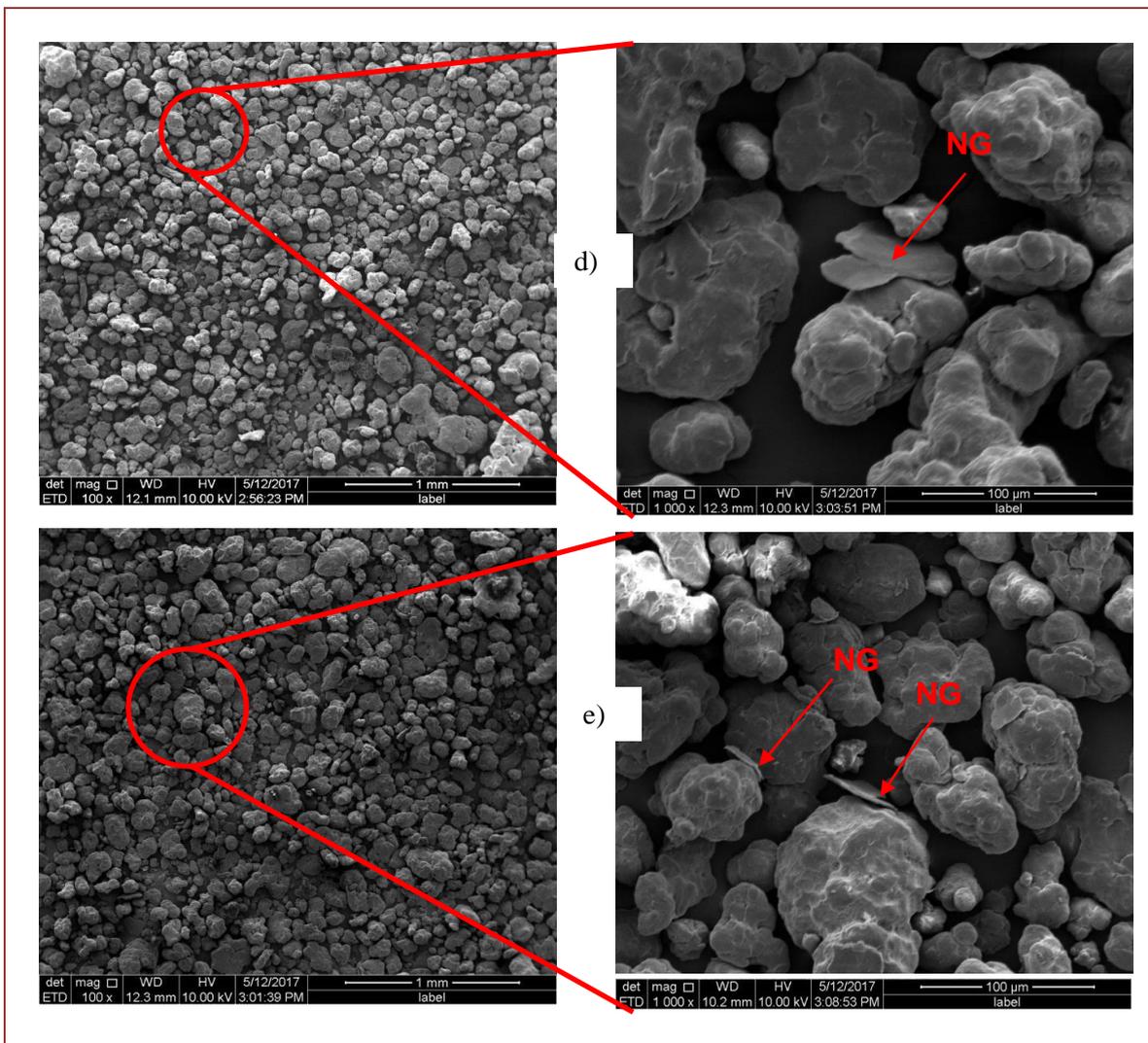
Amostra	2θ (°)	d_{110} (nm)	2θ (°)	d_{200} (nm)	2θ (°)	d_{002} (nm)
PEUAMM+0,125% NG	21,43	0,4141	23,84	0,3728	26,47	0,3363
PEUAMM+0,250% NG	21,42	0,4143	23,90	0,3719	-	-
PEUAMM+0,375% NG	21,52	0,4124	23,89	0,3720	26,55	0,3353
PEUAMM+0,500% NG	21,48	0,4132	23,79	0,3736	26,45	0,3366

Os difratogramas dos nanocompósitos apresentam os picos correspondentes ao polietileno. Os picos de difração em 26,5°, aproximadamente, são correspondentes ao plano (002), característico das NG, no entanto, não puderam ser acentuadamente percebidos devido às baixas intensidades.

Analisando as imagens dos nanocompósitos – da Figura 6 b à Figura 6 e – mostraram presença de NG na matriz polimérica. Até mesmo a amostra com 0,250%(p/p) de NG mostrou a presença da carga, que não pareceu estar presente na análise de DRX.

Figura 6. Imagens de MEV do PEUAMM puro e dos Nanocompósitos de NG. (a)PEUAMMPuro; (b)PEUAMM+0,125%NG; (c)PEUAMM+0,250%NG; (d)PEUAMM+0,375%NG; (e)PEUAMM+0,500%NG

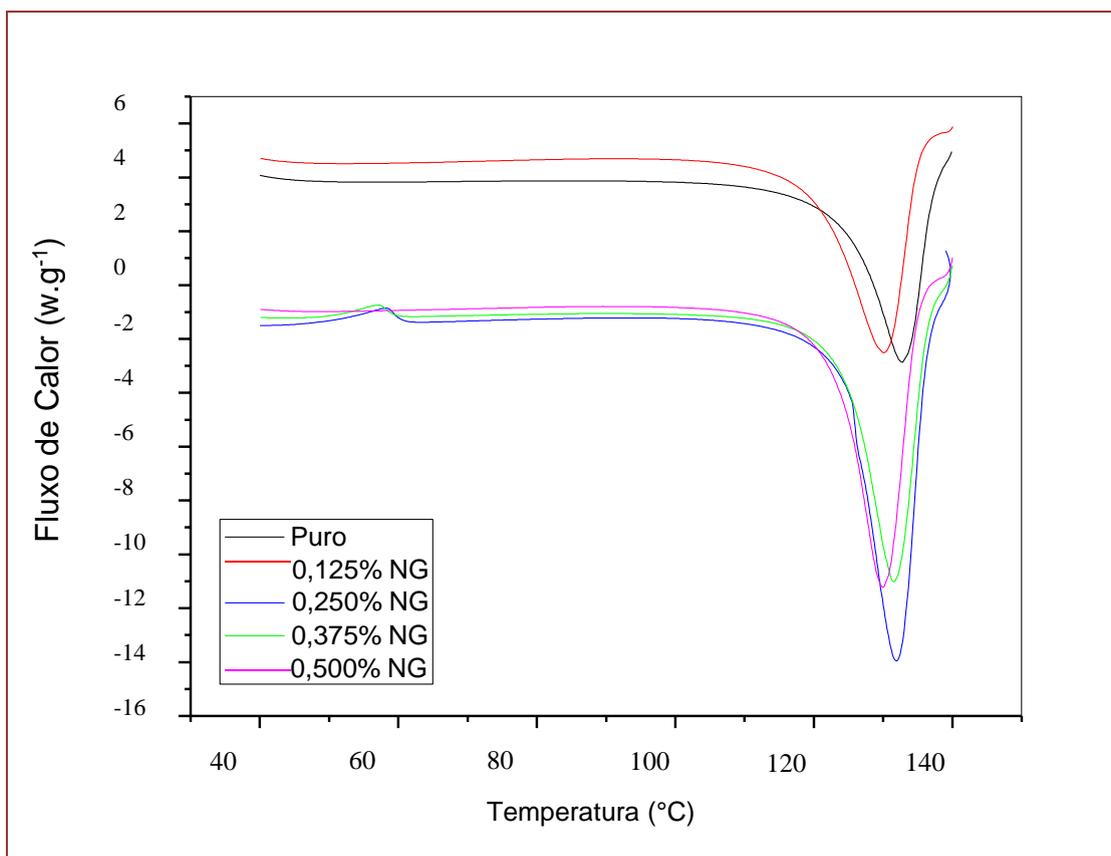
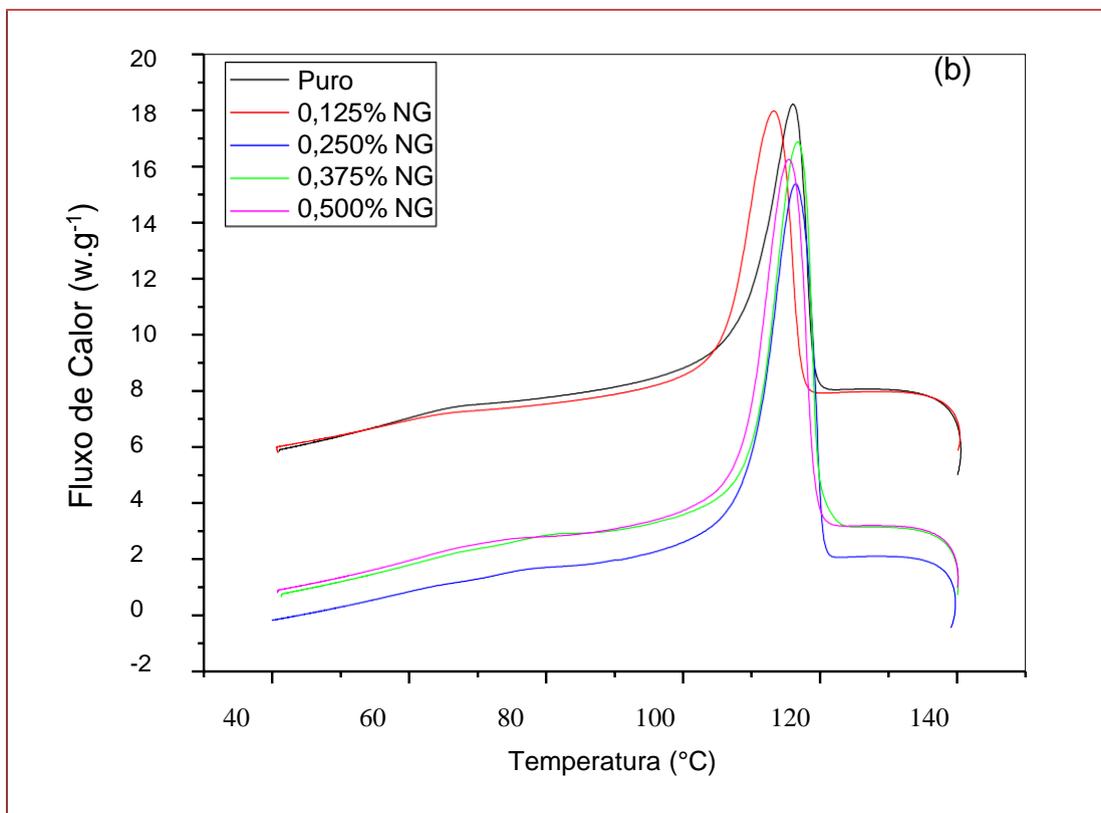




3.3 PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS NANOCOMPÓSITOS

As propriedades térmicas foram avaliadas por Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) e Análise Termogravimétrica (TGA). A Figura 7 apresenta as curvas exotérmicas e endotérmicas obtidas a partir da análise de DSC. As curvas endotérmicas (Figura 7 b) referem-se ao segundo ciclo de aquecimento do polímero puro e dos nanocompósitos com 0,125; 0,250; 0,375 e 0,500% (p/p) de NG.

Figura 7. Curvas de DSC do PEUAMM puro e dos nanocompósitos de NG: a) curvas exotérmicas e b) curvas endotérmicas.



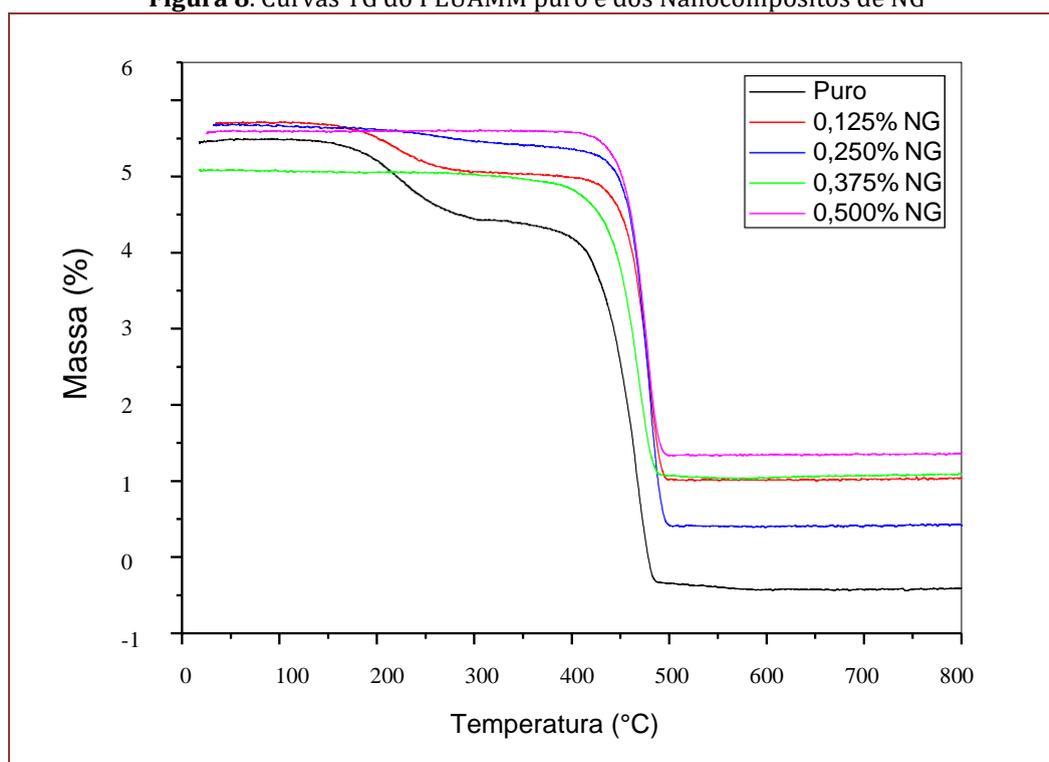
Os dados referentes ao DSC, como temperatura de fusão (T_m), temperatura de cristalização (T_c), entalpia de fusão (ΔH_f) e cristalinidade (X_c) estão apresentados na Tabela 6. A análise de DSC foi realizada após o polímero passar pela moldagem, isso quer dizer que o polímero fundiu e as nanolâminas foram introduzidas na matriz polimérica.

Tabela 6. Temperatura de Fusão (T_m), Temperatura de Cristalização (T_c), Entalpia de Fusão (ΔH_f) e Cristalinidade (X_c) do PEUAMM puro e dos nanocompósitos de NG

Amostra	T_m (°C)	T_c (°C)	ΔH_f (J/g)	X_c (%)
PEUAMM puro	132,69	116,05	121,78	41,56
PEUAMM + 0,125% NG	130,17	113,22	133,79	45,66
PEUAMM + 0,250% NG	131,79	116,52	171,75	58,62
PEUAMM + 0,375% NG	131,58	116,78	155,44	53,05
PEUAMM + 0,500% NG	129,95	115,49	167,54	57,18

Os dados da Tabela 6 mostram que as NG não afetaram significativamente as temperaturas de fusão (T_m) e cristalização (T_c), mas afetaram a cristalinidade do polímero (X_c). Pang et al. também encontrou uma maior cristalinidade nos nanocompósitos de PEUAMM com óxido de grafeno e justificou esse aumento devido a maior área superficial específica do óxido de grafeno (GO), pois o polímero é adsorvido sobre a superfície do GO que durante a cristalização atua como um local de nucleação heterogênea, melhorando assim a cristalinidade do PEUAMM (Pang et al., 2015). Percebeu-se isto mais efetivamente nos percentuais acima de 0,250% (p/p) de NG.

Figura 8. Curvas TG do PEUAMM puro e dos Nanocompósitos de NG



A análise termogravimétrica (TGA) foi apresentada na Figura 8. Destaque à temperatura inicial de decomposição (*Tonset*), onde há o início da variação de massa e a temperatura final (*Tf*) que indica que o processo responsável pela variação de massa foi concluído (Lucas *et al.*, 2001). A temperatura inicial da principal variação de perda de massa exibida na Figura 8 ocorre a partir de 440°C. É possível verificar essa perda de massa em todas as curvas e é referente à degradação do polímero.

A temperatura *Tonset* é aquela onde ocorre o cruzamento do prolongamento da linha base com o prolongamento do ramo do pico (Bannach *et al.*, 2011). Na Tabela 7, são mostrados os valores de *Tonset* e *Tmáx* (temperatura cuja taxa de perda de massa é máxima) do polímero puro e de seus nanocompósitos.

A adição de NG provocou o aumento da *Tonset* em todos os percentuais estudados, conforme mostra a Tabela 7. Assim como o aumento da *Tmáx* também pôde ser verificado. Logo, a adição das NG mostrou uma influência positiva, contribuindo para uma melhor estabilidade térmica do polímero.

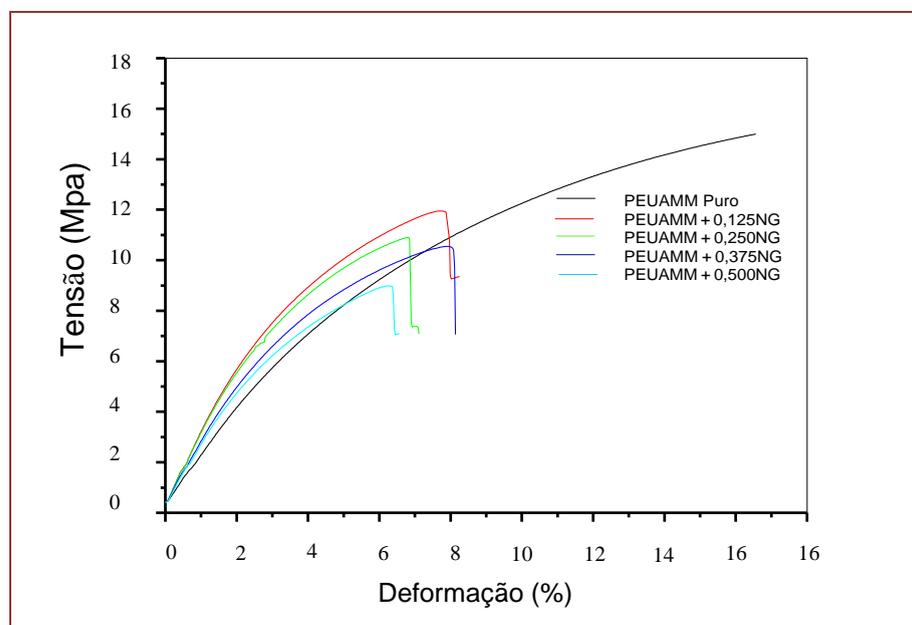
Tabela 7. Temperaturas *Tonset* e *Tmáx* do PEUAMM puro e dos nanocompósitos de NG

Amostra	<i>Tonset</i> (°C)	<i>Tmáx</i> (°C)
PEUAPM puro	440,56	456,66
PEUAPM + 0,125% NG	460,05	473,49
PEUAPM + 0,250% NG	462,15	474,92
PEUAPM + 0,375% NG	460,55	447,83
PEUAPM + 0,500% NG	457,12	472,14

3.4. PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS NANOCOMPÓSITOS

As propriedades mecânicas dos nanocompósitos foram avaliadas no ensaio de tração dos corpos de prova com a forma de “gravata” e também através da microdureza Vickers. A Figura 9 apresenta as curvas Tensão versus Deformação do polímero puro e dos nanocompósitos.

Figura 9. Curvas de tensão X deformação do PEUAMM puro e dos nanocompósitos de NG

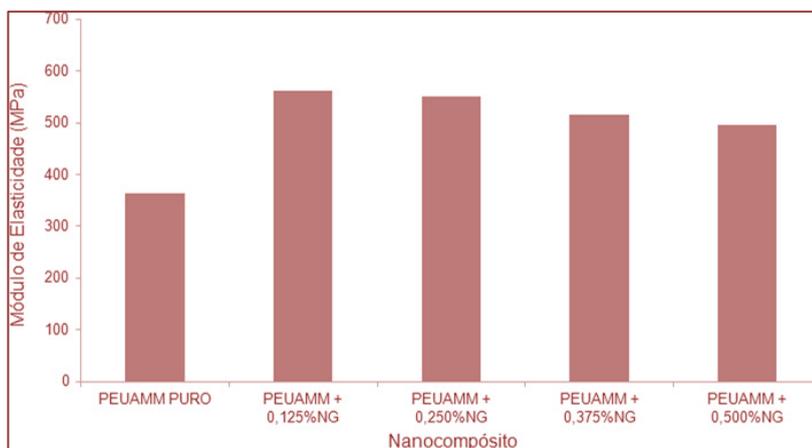


Pela análise das curvas (Figura 9), pode-se verificar que o PEUAMM puro se deformou mais que os nanocompósitos. A deformação diminuiu à medida que se adicionou carga na matriz polimérica. Do mesmo modo, à medida que se aumentou o percentual de NG nos nanocompósitos a resistência à tração diminuiu. Tal comportamento pode ser atribuído à redução de mobilidade das moléculas de PEUAMM quando adicionadas as cargas, ou ainda que as nanolâminas isoladas remanescentes no nanocompósito possa ter atuado como concentradores de tensão, fazendo com que o PEUAMM não fosse capaz de dissipar a energia mecânica aplicada ao corpo de prova e que houvesse o rompimento dos nanocompósitos em valores menores percentuais de deformação. Ainda, a má dispersão e distribuição das NG entre as cadeias poliméricas pode ser motivo da diminuição na resistência à tensão.

O mesmo foi observado por Fim (Fim *et al.*, 2013) com PEAD/NG e por Suñer (Suñer *et al.*, 2015) com PEUAMM/GO, ambos mostraram que com o aumento do percentual de carga há uma diminuição nas propriedades mecânicas. Podendo-se atribuir isto à redução da mobilidade das cadeias. Mais acentuadamente no PEUAMM porque as cadeias poliméricas são muito grandes, o que por si só já dificulta essa mobilidade.

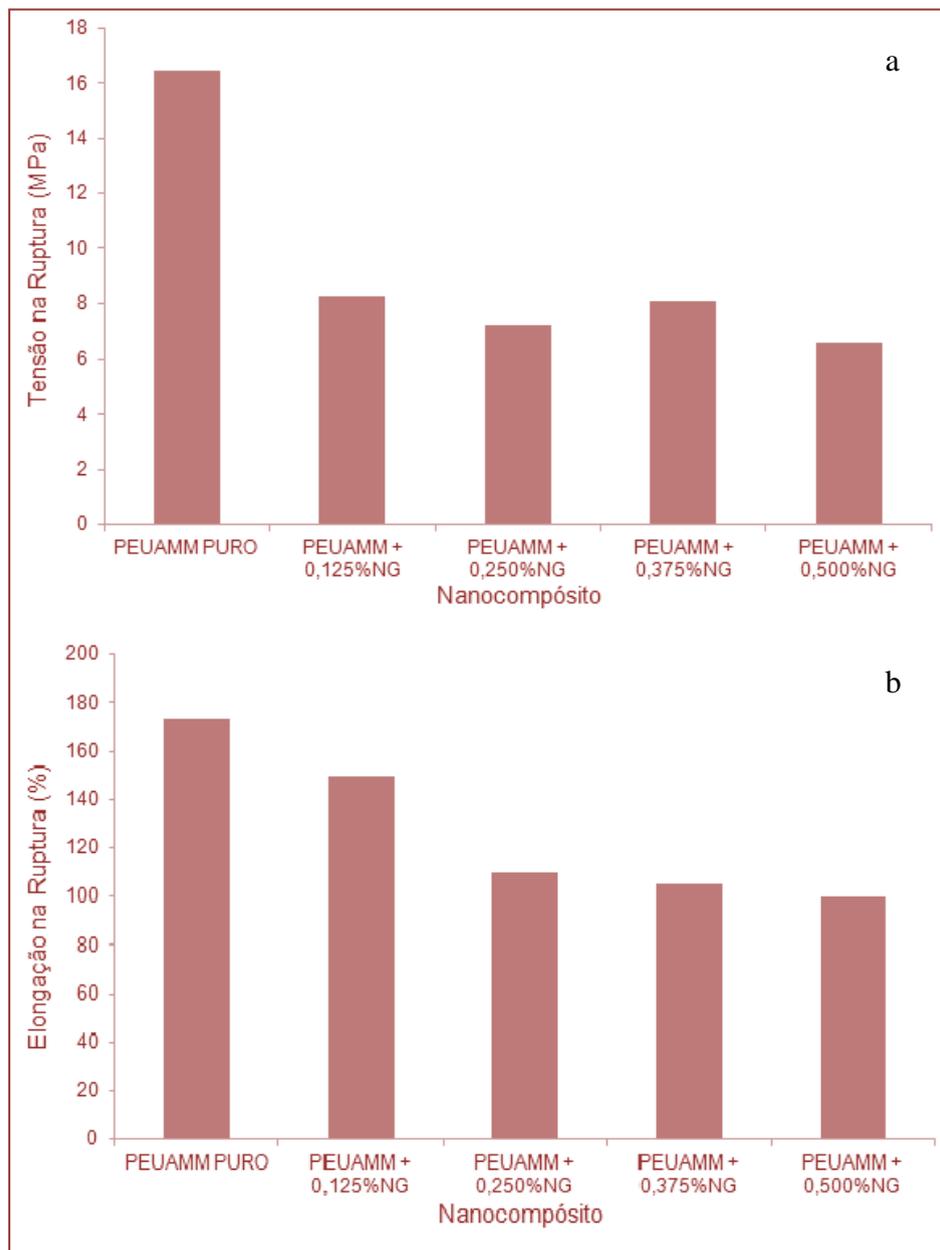
O polímero puro apresentou maior ductilidade que os nanocompósitos, mas diminuiu à medida que se aumentou o percentual de NG. Percebe-se, a partir da análise de DSC, que a cristalinidade aumentou, logo, nas regiões cristalinas, as forças intermoleculares entre as cadeias poliméricas são mais intensas.

Figura 10. Relação entre o Módulo de Elasticidade e o Percentual de NG nos nanocompósitos



A Figura 10 mostra a relação entre o módulo de elasticidade e o percentual de NG no PEUAMM puro e nos nanocompósitos. Todos os valores de módulo de elasticidade apresentados foram maiores que o PEUAMM puro, assim como os valores de cristalinidade.

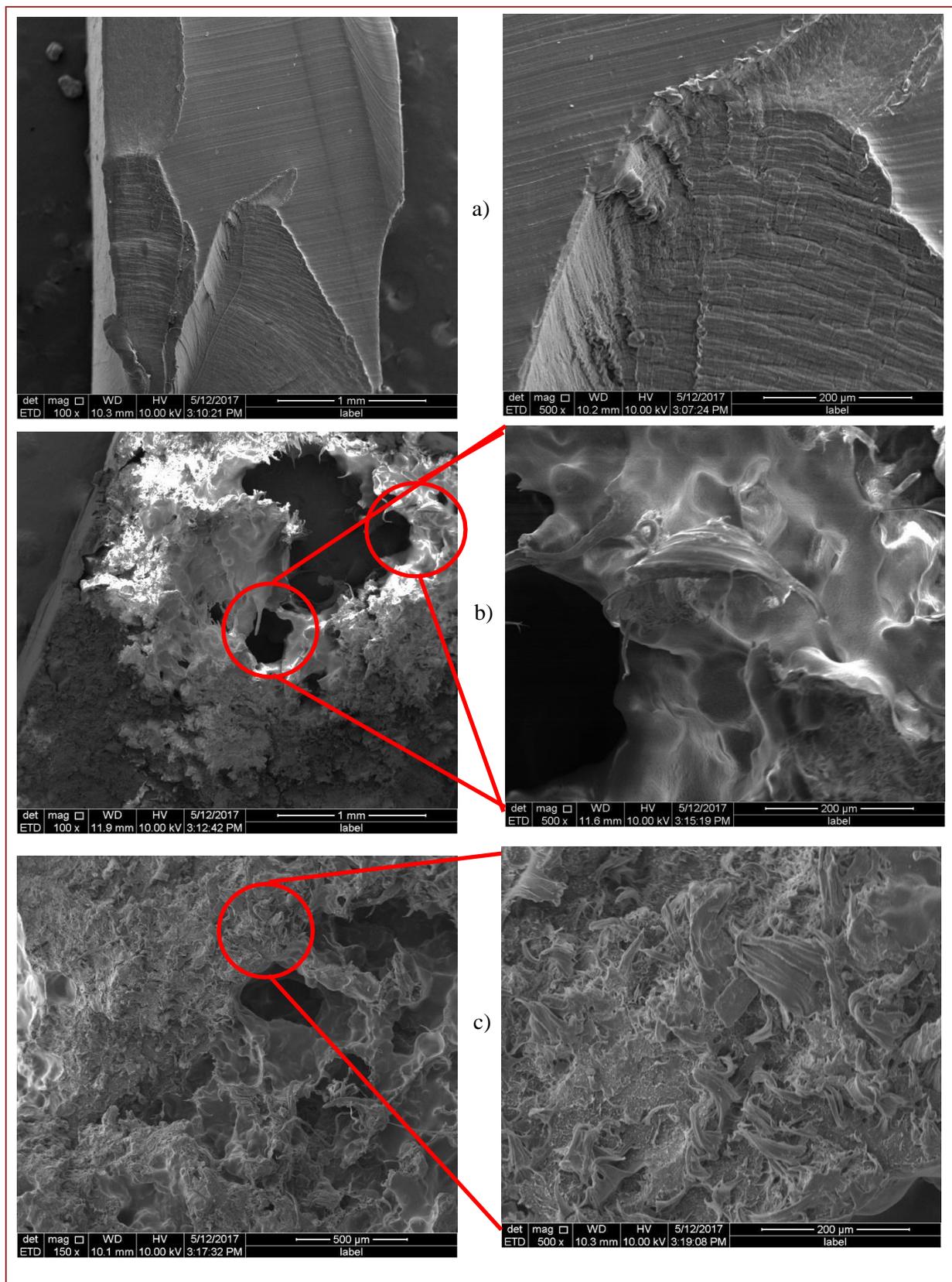
Figura 11. (a) Gráfico de Tensão na Ruptura e (b) Elongação na Ruptura do PEUAMM puro e dos nanocompósitos de NG

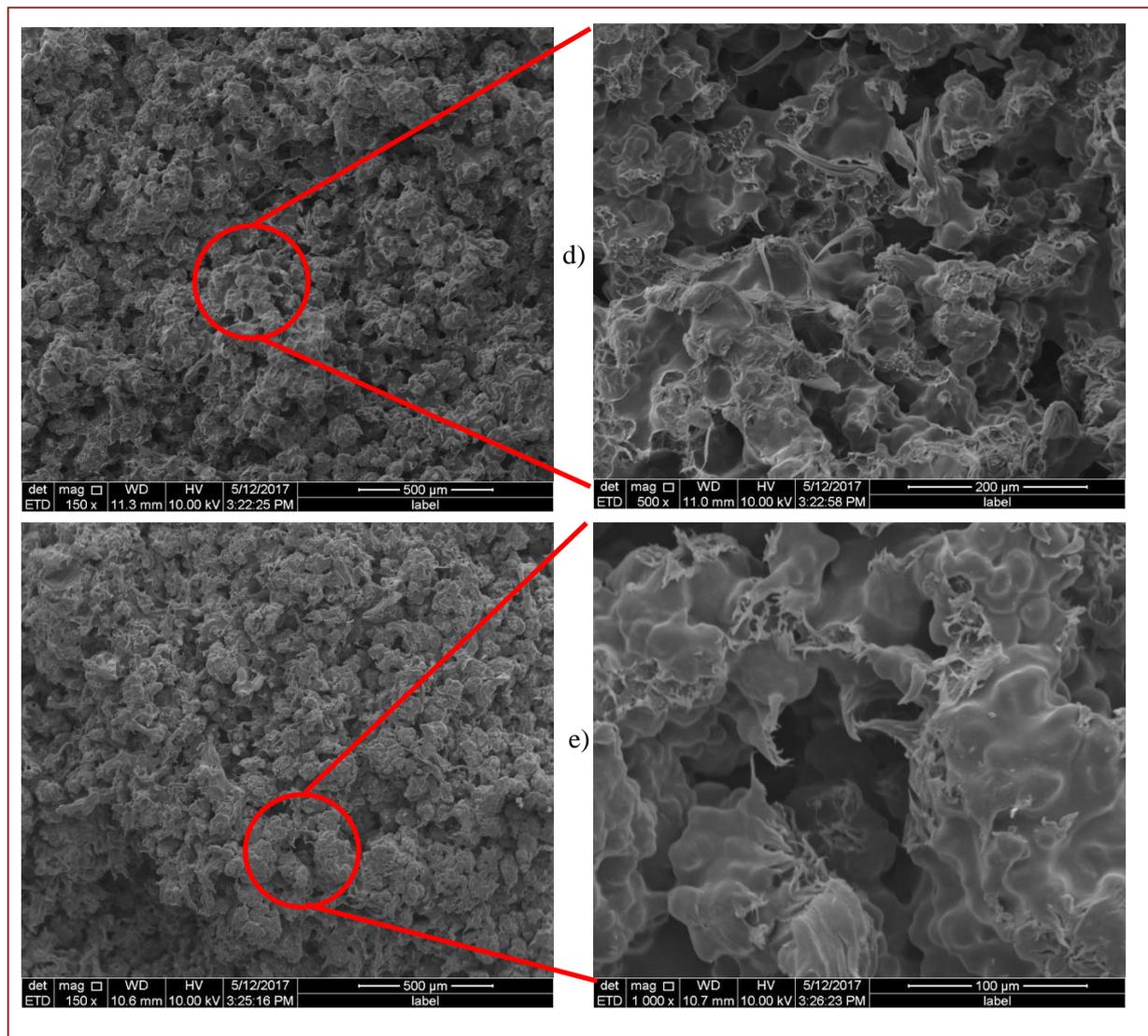


A Figura 11 a, mostra os valores da tensão na ruptura. O PEUAMM puro apresentou maior valor e todos os nanocompósitos apresentaram valores menores, em 50% ou mais, que do PEUAMM puro. Os valores de elongação na ruptura, apresentados na Figura 11 b, seguiram a mesma tendência dos valores de tração, onde o PEUAMM puro apresentou maior valor, tendo os valores da propriedade diminuídos à medida que se aumentou os percentuais de NG.

Todas as propriedades mecânicas discutidas a partir do gráfico tensão versus deformação mostraram que o material apresentou um comportamento mais frágil com a adição das NG e que se tornou mais rígido, mas sem ganho de resistência à tensão. A Figura 12 mostra as imagens de MEV das superfícies de fratura dos corpos de prova após ensaio de tração.

Figura 12. Imagens de MEV das superfícies de fraturas do PEUAMM puro e dos Nanocompósitos. (a) PEUAMM Puro; (b) PEUAMM+0,125%NG; (c) PEUAMM+0,250%NG; (d) PEUAMM+0,375%NG; (e) PEUAMM+0,500%NG





Percebe-se que o polímero puro, Figura 12 a, apresenta comportamento de fratura sem o aparecimento de fibrilas. Pelas linhas mostradas na seção fraturada, o material apresentou um escoamento e uma deformação plástica antes de ocorrer a ruptura. Segundo Canevarolo (2010) após iniciado o escoamento, as moléculas são orientadas na direção da sollicitação e atingem um grau elevado de orientação, inicia-se o processo de ruptura propriamente dito (Canevarolo, 2010). Pois, até atingir o limite de escoamento, a deformação ocorre inicialmente nas partes amorfas, que se alinham e alongam partindo para a deformação das regiões cristalinas em seguida.

Essas regiões cristalinas começam a romper com o aparecimento de fibrilas e à medida que os microvazios se coalescem, as fissuras se formam. Em termos simples, durante o processo de fratura, formam-se fissuras em regiões onde existe uma concentração de tensão localizada, que podem ser arranhões, falhas afiadas ou poros. A força é amplificada nas pontas dessas fibrilas, levando à propagação da trinca e fratura. Ligações covalentes na rede ou estrutura reticulada são rompidas durante a fratura (Callister e Rethwisch, 2014). Já as Figuras 12 b à 12 e, indicativas das superfícies de fratura dos corpos de prova dos nanocompósitos, demonstram que em todos os casos há a presença de poros e de uma superfície não homogênea. Esses defeitos, provavelmente são os responsáveis pela menor resistência à tração que o polímero puro.

Por meio do ensaio de microdureza Vickers buscou-se identificar alterações na resistência mecânica local do polímero puro e dos nanocompósitos.

A dureza está relacionada ao módulo de rigidez do material, e este, por sua vez, pode ser relacionado ao grau de cristalinidade, pois quanto mais cristalino for o polímero, maior será a sua dureza. O módulo de elasticidade apresentou valores maiores com a introdução da carga nos nanocompósitos e à medida que se aumentou o percentual de NG o módulo diminuiu, mas não atingiu valores menores que o polímero puro. O

mesmo aconteceu com a dureza.

Considerando que o valor de microdureza médio obtido da amostra de material de base foi de $(4,94 \pm 0,82)$ MPa, de acordo com a Tabela 8, é possível observar que todos os nanocompósitos apresentaram valores maiores de dureza que o PEUAMM puro. Os valores diminuíram à medida que se aumentou o teor de carga no nanocompósito, mas ainda assim, todos os valores obtidos foram maiores que do polímero puro.

Tabela 8. Dureza Vickers do PEUAM puro e dos nanocompósitos de NG

Amostra	Diagonal 1 (mm)	Diagonal 2 (mm)	Dureza Vickers
PEUAMM puro	60,91	62,71	$4,94 \pm 0,82$
PEUAMM + 0,125% NG	49,77	52,59	$8,26 \pm 1,47$
PEUAMM + 0,250% NG	46,49	49,36	$8,13 \pm 1,02$
PEUAMM + 0,375% NG	52,10	55,28	$6,48 \pm 0,68$
PEUAMM + 0,500% NG	53,67	56,48	$6,32 \pm 1,32$

Os resultados sugerem que o segundo processamento do banho de ultrassom nas amostras dos nanocompósitos, após saírem do moinho de bolas, não possibilitou a obtenção de aumento da resistência à tração porque possivelmente houve uma reaglomeração das nanolâminas, que com a utilização de um tempo de sonicação mais prolongado para esfoliar folhas de grafeno, elas foram atraídas umas às outras (Hsu *et al.*, 2014).

A dureza teve um aumento considerável, o que pode estar relacionado com a boa distribuição da carga na matriz polimérica, apesar da menor ductilidade apresentada.

4. CONCLUSÃO

Os tratamentos utilizados para obtenção das Nanolâminas de Grafeno (NG) foram adequados, visto que conseguiu-se obter um pequeno empilhamento de lâminas de grafeno que foi comprovado pelas caracterizações propostas.

As etapas do processo de obtenção dos nanocompósitos foram suficientes para a obtenção dos pós, em seguida, dos corpos de prova com os requeridos percentuais.

A presença de Nanolâminas de Grafeno isoladas na matriz polimérica provocou a diminuição da resistência à tração dos nanocompósitos. A adição das Nanolâminas provocou o retardo do processo de degradação dos nanocompósitos, tornando-os mais termicamente estáveis, o que pôde ser visto mais acentuadamente nas amostras mais cristalinas.

O módulo de elasticidade e a dureza foram aumentados com a presença das Nanolâminas na matriz polimérica dos nanocompósitos. Entretanto, o tempo no banho de ultrassom ao qual os nanocompósitos foram submetidos após a mistura no moinho de bolas, foi alto e ocasionou uma mudança da estrutura das cadeias poliméricas com perda de propriedades mecânicas.

REFERÊNCIAS

- [1] AHMADI, S. J.; HUANG, Y. D.; LI, W. Review Synthetic Routes, Properties and Future Applications of Polymer-layered Silicate Nanocomposites. *J. Mat. Sci.* 39(6), p.1919. 2014.
- [2] BANNACH, G.; PERPÉTUO, G. L.; CAVALHEIRO, É. T. G.; CAVALHEIRO, C. C. S.; ROCHA, R. R. Efeitos da história térmica nas propriedades do polímero PET: um experimento para ensino de análise térmica. *Quim. Nova.* 34(10), p.1825. 2011.
- [3] CALLISTER, J. W. D.; RETHWISCH, D. G. *Materials Science and Engineering – An Introduction.* 9ª ed. 990p. John Wiley & Sons, Inc. 2014.
- [4] CANEVAROLO JR., S. V. *Ciência dos Polímeros – Um texto básico para técnicos e engenheiros.* 3ª ed., Artliber, 2010.
- [5] COUTINHO, F. M. B.; MELLO, I. L.; MARIA, L. C. S. *Polietileno: Principais Tipos, Propriedades e Aplicações.* Polímeros: Ciência e Tecnologia, Rio de Janeiro. 13(1), p.1. 2003.
- [6] CPPP – Catálogo de Produtos da Polialden Petroquímica. 2000.
- [7] EUROPEAN COMMISSION, Recommendation on the definition of a nanomaterial. Brussels, E.C. 2011. Disponível em: <<http://ec.europa.eu/environment/chemicals/nanotech/#definition>> Acesso em 01 de Set. 2016.
- [8] FIM, F. C. Síntese e Propriedades de nanocompósitos de polietileno/ nanolâminas de grafeno obtidos através de polimerização in situ. Tese de Doutorado. Universidade de Rio Grande do Sul. 2012.
- [9] FIM, F. C.; BASSO, N. R. S.; GRAEBIN, A. P.; AZAMBUJA, D. S.; GALLAND, G. B. J. Thermal, Electrical, and Mechanical Properties of Polyethylene–Graphene Nanocomposites Obtained by In Situ Polymerization. *Appl. Polym. Sci.* p.2630. 2013.
- [10] GEIM, A. K. E. NOVOSELOV K. S., The Rise of Graphene. *Nat. Mat.* (6) p.183. 2004.
- [11] GOPAKUMAR, T. G.; PAGÉ, D. J. Y. S. Polypropylene/graphite nanocomposites by thermo-kinetic mixing. *Polym. Eng. Sci.*, 44, p.1162-1169. 2004.
- [12] HSU, U. P.; LIN, T.; TSAI, I. Numerous single-layer graphene sheets prepared from natural graphite by non-chemical liquid-phase exfoliation. *Micro & Nano Letters.* 9(12), p. 922. 2014.
- [13] HUSSAIN, F.; HOJJATI, M.; OKAMOTO, M.; GORGA, R. E. Review article: Polymer-matrix Nanocomposites, Processing, Manufacturing, and Application: An Overview. *J. of Comp. Mat.* 40 (17), p.1511-1575. 2006.
- [14] JIANG, X.; DRZAL, L. T. Properties of Injection Molded High Density Polyethylene Nanocomposites Filled with Exfoliated Graphene Nanoplatelets, Some Critical Issues for Injection Molding. Michigan, p. 251-252. 2012. Lucas, E. F.; Soares, B. G.; Monteiro, E. E. C. *Caracterização de Polímeros.* E-paper, Rio de Janeiro, 2001.
- [15] NOVOSELOV, K. S.; GEIM, A. K.; MOROZOV, S. V.; JIANG, D.; ZHANG, Y.; DUBONOS, S. V.; GRIGORIEVA, I. V.; FIRSOV, A. A. Electric field in atomically thin carbon films. *Science.* 306, p.666. 2004.
- [16] PANG, W.; NI, Z.; CHEN, G.; HUANG, G.; HUANG, H.; ZHAO, Y. Mechanical and Thermal Properties of Graphene oxide/ultrahigh Molecular Weight Polyethylene Nanocomposites. *RSC Advances.* 5, p.63063. 2015.
- [17] PIGGOTT, M. R. *Load Bearing Fibre Composites.* Ontario – University of Toronto. 2001.
- [18] SUÑER, S.; JOFFE, R.; TIPPER, J.L.; EMAMI, N. Ultra-high molecular weight polyethylene/graphene oxide nanocomposites: Thermal, mechanical and wettability characterization. *Composites Part B,* 78, p.185. 2015.

Capítulo 3

Influência da quantidade de caulim e de agente compatibilizante no índice de fluidez de compósitos PEAD/Caulim

Márcio Alves de Lima

Cirlene Fourquet Bandeira

Izabel de Oliveira da Mota

Deisi Vieira Isquierdo

Maria Cristina Carrupt

Sérgio Roberto Montoro

Resumo: Na maioria das vezes os polímeros puros não apresentam as propriedades para atendimento das especificações técnicas, as quais a aplicação final requer. Tais propriedades podem ser aprimoradas através do emprego de cargas minerais e agentes compatibilizantes no processamento de compósitos de matrizes poliméricas reforçados com cargas minerais. O Caulim é um mineral global usado principalmente como pigmento para melhoria da aparência e funcionalidade do papel e tintas, como material de reforço para plásticos, como matéria-prima de cerâmica, como componente de tijolos refratários e produtos de fibra de vidro. No presente trabalho foram caracterizados compósitos poliméricos de PEAD reforçados com Caulim. Foram caracterizadas 4 famílias de compósitos onde foram variadas as proporções de carga mineral e agente compatibilizante. Foi possível constatar que o índice de fluidez apresentou uma pequena redução na maioria dos experimentos em relação ao PEAD puro. Pode-se constatar também a importância do agente compatibilizante na propriedade de índice de fluidez.

Palavras-chave: Compósitos, PEAD, Caulim, Índice de Fluidez, Compatibilizante

1. INTRODUÇÃO

Os polímeros são materiais extremamente versáteis, possuindo uma enorme gama de aplicações, esta versatilidade dos polímeros advém da sua grande diversidade em estruturas moleculares e propriedades que os tornam ideais para serem utilizados em várias aplicações. O polietileno é um dos polímeros de maior importância na indústria atualmente, devido seu baixo custo e por ser facilmente processável pela maioria dos métodos utilizados na indústria (CALADO, 2015).

A atratividade dos materiais compósitos vem aumentando, principalmente pela possibilidade que uma eventual mistura tem de melhorar propriedades mecânicas, físicas e químicas ou pela probabilidade de manter características próximas de um material puro, mas utilizando-o em menor quantidade, devido adição de um outro material muitas vezes de um custo menor. Estes materiais compósitos são constituídos por dois ou mais componentes, nomeadamente por uma fase contínua (em maior quantidade) e por uma fase dispersa (menor quantidade) (BREHM, 2014).

As cargas minerais atualmente ocupam posição de destaque na formulação de compósitos termoplásticos. As funções básicas da incorporação de minerais em polímeros evoluíram da simples substituição econômica e estratégia das resinas, intensificada pela crise do petróleo nos anos 70, para funções mais específicas como minerais ou polímero de aprimoramento de propriedades do compósito final (BIZZI, 2003).

Estudos revelam que em compósitos com polímeros, as cargas minerais são adicionadas devido razões como: redução de custo, melhorar o processamento, controle de densidade, efeitos ópticos, controle da expansão térmica, retardamento de chama, modificações no que se refere às propriedades de condutividade térmica, resistência elétrica e susceptibilidade magnética e propriedades mecânicas (SAKAHARA, 2012).

2. METODOLOGIA

Para o processamento do compósito foram utilizados o PEAD fornecido gentilmente pela EEL/USP, campus de Lorena/SP. O Caulim foi adquirido comercialmente. E como agente compatibilizante foi utilizado o Epolene C-16, cedido pela UniFOA de Volta Redonda/RJ. Trata-se de um polietileno de baixa densidade modificado com anidrido maleico.

Foi utilizado um planejamento experimental para o processamento dos compósitos PEAD/Caulim. Foi usada a matriz experimental de Taguchi L_4 , com uma réplica no ponto central. A Tabela 1 apresenta os fatores de entrada e seus respectivos níveis.

Tabela 1 – Fatores de entrada do processo e seus três níveis

Fatores	Nível Baixo (-)	Nível Médio (0)	Nível Alto (+)
A: Teor de Caulim (%)	10	20	30
B: Ter de Compatibilizante (%)	0	5	10

Fonte: os autores

Foram estudados a influência do teor de caulim e de compatibilizante conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Arranjo ortogonal de Taguchi L_4 acrescidos da réplica do nível médio (-) Nível Baixo; (0) Nível médio; (+) Nível alto

EXPERIMENTOS	A	B
1	-	-
2	-	+
3	+	-
4	+	+
5	0	0
6	0	0
7	0	0

Fonte: os autores

As proporções de cada produto utilizado para cada batelada de preparo no homogeneizador homocinético (Marca Dryzer) pode ser verificada na Tabela 3.

Tabela 3 - Matriz de experimentos com suas respectivas quantidades em gramas

Experimentos	Unidade	Caulim	Compatibilizante	PEAD
1	%	10	0	90
	Gramas	9	0	81
2	%	10	10	80
	Gramas	9	9	72
3	%	30	0	70
	Gramas	27	0	63
4	%	30	10	60
	Gramas	27	9	54
5	%	20	5	75
	Gramas	18	4,5	67,5
6	%	20	5	75
	Gramas	18	4,5	67,5
7	%	20	5	75
	Gramas	18	4,5	67,5

Fonte: os autores

3. RESULTADOS

A Tabela 4 apresenta os resultados do índice de fluidez para cada experimento.

Tabela 4 - Resultado do índice de fluidez de todos experimentos

AMOSTRAS	% Caulim	% Compatibilizante	Índice de Fluidez (g/10')
PEAD PURO	0	0	6,92 ± 0,02
EXPERIMENTO 1	10	0	6,46 ± 0,03
EXPERIMENTO 2	10	10	7,68 ± 0,05
EXPERIMENTO 3	30	0	4,87 ± 0,08
EXPERIMENTO 4	30	10	6,67 ± 0,08
EXPERIMENTO 5	20	5	6,68 ± 0,09
EXPERIMENTO 6	20	5	6,54 ± 0,09
EXPERIMENTO 7	20	5	6,49 ± 0,02

Fonte: os autores

4. DISCUSSÃO

Os resultados de índice de fluidez são de suma importância para o estudo em questão, principalmente no que se refere ao comportamento de cada uma das composições com relação ao processo de moldagem. A processabilidade é um fator importante que influencia não só o custo de fabricação, como as propriedades finais do material.

Como pode-se observar a Figura 1, com exceção do experimento 2, todos os demais experimentos apresentaram queda no índice de fluidez com a introdução de Caulim. Pode ser verificada uma queda significativa neste índice no experimento 3 (30% de caulim e sem compatibilizante).

Figura 1 - Gráfico dos resultados do índice de fluidez por experimento

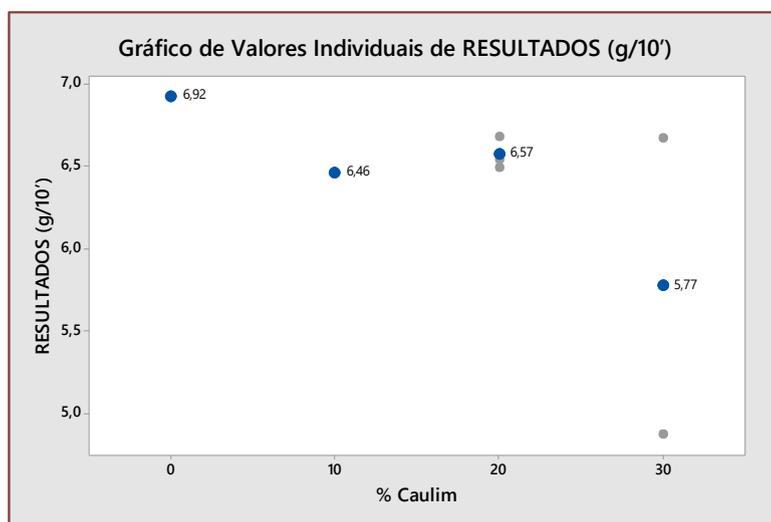


Fonte: os autores

No que se refere a índice de fluidez, os resultados mostraram que na maioria dos experimentos, houve redução no índice de fluidez, quanto maior foi a quantidade de Caulim aplicado. A exceção foi o experimento 2. No caso do experimento 3, esta redução foi extremamente significativa. Os resultados de índice de fluidez menores quando incorporado o caulim, corrobora o que foi mencionado na revisão bibliográfica. Observou-se um aumento da viscosidade e conseqüentemente redução do índice de fluidez com a adição de Caulim ao PEAD, na maioria dos compósitos. No entanto, esta redução foi muito pequena (aproximadamente 6%) considerando experimentos com quantidade de 10 e 20% de caulim, conforme mostra a Figura 2.

O experimento 4 (30% de caulim e 10% de compatibilizante) comparado isoladamente com o PEAD puro, apresentou uma redução do índice de fluidez de apenas 4% aproximadamente. Esta análise indicou que o índice de fluidez do compósito com 30% de caulim pode ser melhorado com a aplicação do agente compatibilizante.

Figura 2 - Gráfico de valores individuais de Índice de fluidez em relação ao % de caulim



Fonte: os autores

5. CONCLUSÃO

No que se refere a índice de fluidez, foi verificado que a redução do índice foi extremamente pequena (6%) quando comparado com as quantidades de 10 e 20% de caulim com o PEAD puro. Isso indicou que estes níveis de concentração de caulim (10 e 20%) pouco interfeririam em um possível processamento do material. Sendo assim, peças com níveis de complexidade que serão possíveis de serem processadas com PEAD puro, provavelmente seriam possíveis o processamento com compósitos PEAD/Caulim com teores de caulim de 10 e 20%. O experimento 2 (proporção de 10% caulim e 10% compatibilizante) apresentou um aumento no índice de fluidez quando comparado ao PEAD puro de aproximadamente 11%, o que demonstrou uma vantagem técnica especificamente nesta proporção de caulim e agente compatibilizante.

Isso indica também a importância de agente compatibilizante na matriz. O experimento 4 (30% de caulim e 10% de compatibilizante) comparado isoladamente com o PEAD puro, apresentou uma redução do índice de fluidez de apenas 4% aproximadamente. Esta análise indicou que o índice de fluidez do compósito com 30% de caulim pode ser melhorado com a aplicação do agente compatibilizante.

Em suma, o índice de fluidez teve diminuição pequena na maioria dos experimentos, maior resultado no experimento com 10% de caulim e 10% de compatibilizante em relação ao PEAD puro e uma diminuição no efeito de diminuição no índice de fluidez no experimento de 30% de caulim e 10% de compatibilizante quando comparado ao experimento de 30% de caulim sem compatibilizante, o que demonstra a importância do agente compatibilizante na propriedade de índice de fluidez.

REFERÊNCIAS

- [1] CALADO, L.M., Desenvolvimento de Compósitos Poliméricos: Estudo da sua Reologia e Extrusão, Dissertação Mestrado em Química Tecnológica, 2015.
- [2] BREHM, T. M, Reologia de Materiais Compósitos, Dissertação de Engenharia de Materiais, 2014.
- [3] BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H.; Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil. Recursos Minerais Industriais, cap. IX, p. 503-539, 2003.
- [4] SAKAHARA, R. M.; Estudo da formação da fase cristalina Beta nos compósitos de polipropileno contendo anidrido maléico e carbonato de cálcio. 2012, 120 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Capítulo 4

Automatização do projeto de reatores químicos via interfaces gráficas em VBA/Excel

Paulo Henrique Lucio

Guilherme Youssef Rodriguez

Resumo: Reatores químicos são equipamentos essenciais dentro da engenharia de processos industriais como um todo, uma vez que estes fornecem condições adequadas para ocorrência de reações químicas. Devido a sua extrema importância, o projeto de tais equipamentos é complexo e muito detalhado, envolvendo uma variedade de fórmulas e cálculos, sendo necessária a utilização de *softwares* para resolução dos mesmos. No meio científico/acadêmico já existem programas específicos para esses cálculos, no entanto, a nível industrial observa-se como um fato interessante a implementação desses procedimentos matemáticos em um *software* acessível e comum a todo ramo industrial. Assim a proposta de desenvolvimento de um aplicativo usando o *Visual Basic for Applications (VBA)*, presente no *Microsoft Excel*, surge como uma maneira de tornar o projeto desses equipamentos algo mais rápido, moderno automatizado e acessível.

Palavras-Chave: Reatores, Excel, VBA **Área do Conhecimento:** Engenharias – Engenharia Química.

1. INTRODUÇÃO

Reatores químicos são equipamentos industriais que fornecem condições adequadas para que reações químicas ocorram de maneira apreciável. Existem três principais tipos de reatores que são divididos de acordo com seu modo de operação, sendo eles: descontínuos, semicontínuos ou contínuos e dentre essas três opções, diversas variáveis e condições estão envolvidas para estabelecimento de um processo. (FOGLER, 2012)

E devido a este grande número de variáveis e todo o embasamento e complexidade dos cálculos a serem realizados para o projeto de reatores, a otimização e automatização desses cálculos torna-se muito atrativa, considerando-se ainda mais o atual cenário tecnológico, de uma indústria 4.0. Portanto será utilizado o *Visual Basic for Applications*, no *Microsoft Excel*, para criar uma interface gráfica de fácil acesso e utilização pelo usuário, onde todos os cálculos estarão embutidos, para cada tipo de reator diferente, tornando o processo rápido, automatizado e otimizado (WOJEICCHOWSKI, 2015).

No contexto tecnológico atual, observa-se o crescimento de um tipo diferente de indústria, a indústria 4.0, que consiste basicamente na automatização de dados. Somado a esse contexto, problemas de dimensionamento de equipamento, como no caso de reatores são muito frequentes dentro das indústrias, existentes a diferentes proporções e alterando-se com frequência variáveis de projeto, com isso, possibilitar que os cálculos necessários para o projeto estejam automatizados, traz uma praticidade considerável, que permite a alteração de algumas variáveis de projeto, sem a necessidade de escalonar novamente todo o processo (CUTLIP, 2008).

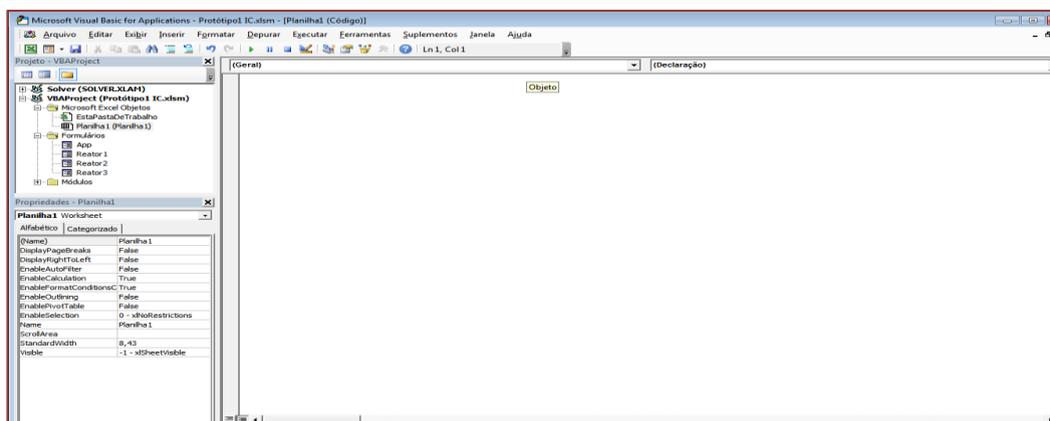
Considerando tal fato, o objetivo geral deste trabalho consiste em desenvolver uma interface gráfica em *Visual Basic for Applications*, presente no *Microsoft Excel*, para otimizar os cálculos para o projeto de reatores, visto que no cenário contemporâneo o engenheiro busca e necessita de ferramentas computacionais modernas e de fácil acesso.

2. METODOLOGIA

Inicialmente foi necessário um estudo a respeito dos diferentes tipos de reatores, separando-os em três principais configurações: Descontínuo (batelada), CSTR (*Continuous Stirred Tank Reactor*) e PFR (*Plug Flow Reactor*). Definidos os reatores, selecionou-se as equações fundamentais para o dimensionamento dos mesmos, sendo elas as de volume e tempo (cronológico e espacial), para três ordens de reação (0, 1 e 2). Em posse das equações, partiu-se para a implementação destas no *software* para criação da interface.

Para isto foi necessário o uso de um computador com o *software Microsoft Excel*, em que a implementação acontecerá no *Visual Basic for Applications*, o qual é apresentado pela Figura 1 a seguir:

Figura 1 – Back-end, área de implementação da programação no Visual Basic for Applications

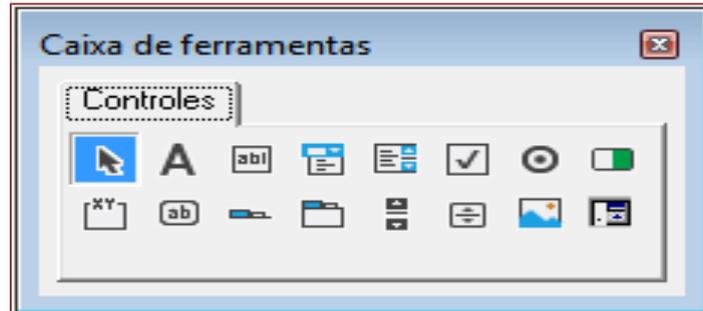


Fonte: autor (2019)

Dentro do VBA, dividiu-se a criação da interface em duas etapas, sendo a primeira delas o *front-end*, que corresponde a caracterização da interface visual propriamente dita, a parte na qual o usuário tem acesso.

E a segunda parte, como sendo a implementação do código fonte, o *back-end*, que é responsável pela execução das funções requeridas.

Figura 2 – Caixa de ferramentas



Fonte: autor (2019)

Para criação da parte visual foi utilizado um *UserForm*, que contém a caixa de ferramentas com uma gama de funções necessária na parte visual do programa, como os botões, as caixas de seleção e as caixas de texto para entrada de dados e informação das respostas.

Uma vez estruturada, a parte visual, iniciou-se a criação do código fonte, atribuindo funções aos componentes da interface. Com isso, fez-se uso das equações separadas inicialmente, e seguiu-se com a implementação das mesmas no código fonte, atrelando-as ao reconhecimento dos dados de entrada que deverão ser digitados pelo usuário, para realização dos cálculos e informação dos valores resposta.

As equações utilizadas no projeto são distintas para cada tipo de reator, e ainda, subdivididas em 3 ordens de reação, 0, 1 e 2. Como dito anteriormente, a interface terá como objetivo calcular o tempo de reação e o volume dos biorreatores. A Equação 1, mostrada abaixo, exemplifica o tipo de equações utilizadas para calcular o tempo de residência em um reator contínuo tubular de escoamento pistonado com reação em fase gasosa (LEVENSPIEL, 2000):

$$\tau = \frac{1}{k_2 * C_{A0}} * \left[\frac{(1 + \varepsilon_A)^2 * X_A}{(1 - X_A)} + 2 * (\varepsilon_A + \varepsilon_A^2) * \ln(1 - X_A) + \varepsilon_A^2 * X_A \right] \quad (1)$$

Onde:

k_2 : constante cinética, dada pela lei de Arrhenius ($k = k_0 * e^{\frac{-E_a}{R*T}}$);

C_{A0} : concentração inicial do reagente A (limitante);

ε_A : coeficiente de variação volumétrica em relação ao reagente A;

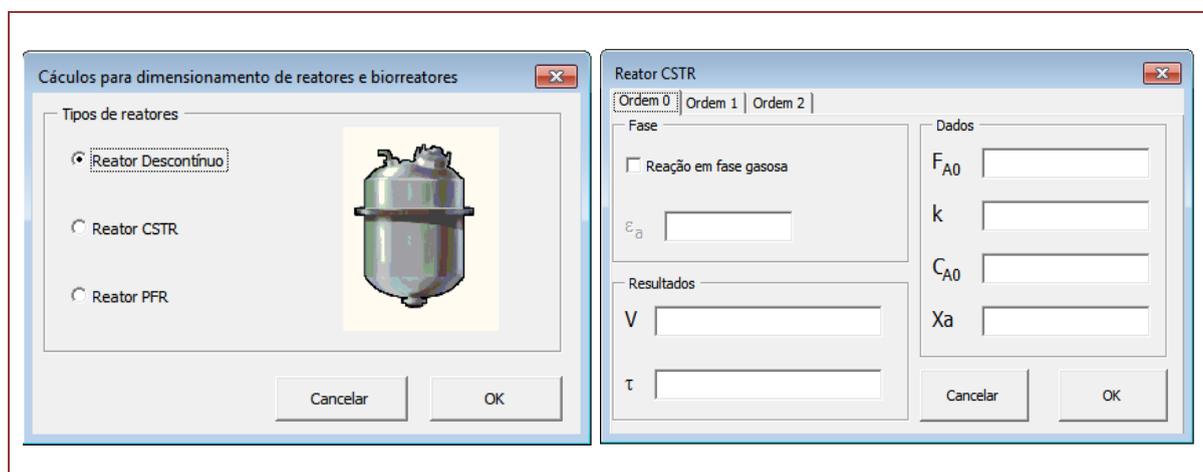
X_A : conversão do reagente A;

$-r_A$: velocidade de reação.

Assim como esta, muitas outras equações estão inseridas no código fonte para realização dos cálculos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a implementação do código fonte e da estruturação da parte visual do projeto, obteve-se uma interface de abertura, com 3 opções de seleção (Figura 3), sendo que cada uma delas redireciona para uma nova janela correspondente ao reator informado, como é exemplificado pela Figura 4, que apresenta a interface referente ao reator contínuo de mistura perfeita (CSTR).

Figura 3 – Janela inicial da interface gráfica **Figura 4** – Janela corresponde ao reator CSTR

Fonte: autor (2019)

Como apresentado pelas figuras acima, cada um dos reatores terá 3 abas distintas referentes as ordens de reação desejadas pelo usuário. Nesta parte o usuário deverá entrar com valores no quadro denominado por Dados, preenchendo as caixas de texto, e o mesmo receberá o valores do volume e/ou tempo necessários para a reação dentro do reator.

Inicialmente o usuário deve selecionar o tipo de reator desejado. Feito isso, o código-fonte reconhece a seleção e direciona o usuário para a janela correspondente ao reator de interesse. Na nova janela o usuário tem três quadros apresentados, com caixas de texto para a digitação dos dados do projeto, com opção para escolher a ordem e o tipo de reação, em fase gasosa ou não. Ao clicar no botão “OK” o programa reconhece os dados bem como a seleção ou não da opção de fase gasosa, seguindo então dois caminhos, um fazendo uso das fórmulas que contém o “ ϵ_A ” e outro sem ele.

Com as fórmulas que foram acopladas no código fonte a interface consegue, por meio dos dados de entrada, calcular e fornecer os valores do volume que deve ter o biorreator, bem como do tempo que a reação necessita, retornando esses dados nos campos correspondentes a “V” e “t (ou τ)” presentes no quadro “Resultados”.

Como mostrado na Equação 1, a equação para cálculo do tempo de residência no reator PFR é altamente não-linear e complexa, o que reforça ainda mais a importância do presente projeto, visto o seu alto grau de dificuldade e especificidade. Contudo a interface criada não é capaz de calcular a conversão do processo tendo o valor do tempo como dado de entrada, visto que seria necessário acoplar junto ao código fonte outra ferramenta capaz de realizar esse cálculo, como por exemplo o Solver do Excel.

De forma geral, ao se analisar o objetivo proposto, não foi encontrado nenhum outro trabalho com o mesmo propósito. Contudo, aprimoramentos podem ser realizados em trabalhos futuros com base neste. Sugere-se, dentro outras possibilidades, incrementar a possibilidade de avaliar a produtividade dos reatores quando comparados entre si e também incrementar a alternativa do usuário optar por associação de reatores, tanto em série quanto em paralelo. Além disso, fornecer ao usuário qual é a opção mais viável dentre os diferentes cenários.

4. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo criar uma interface gráfica em *Visual Basic for Applications*, para realização dos cálculos necessários para o projeto de reatores químicos.

Durante a criação e implementação da interface, foi observada a complexidade e a dificuldade atreladas ao equacionamento e a resolução das equações. Com isso, nota-se a importância da proposta, visto que o uso dessa ferramenta torna simples e rápida o projeto dos equipamentos, além de facilitar a alteração dos parâmetros do processo e comparação entre os tipos de reatores, possibilitando a melhor escolha ao usuário.

Logo, tanto do ponto de vista acadêmico quanto o industrial, o aplicativo desenvolvido torna otimizado e automatizado o projeto de um equipamento industrial que demanda equações exaustivas. O Excel é uma

ferramenta comum em todo o ramo industrial, ainda mais considerando o avanço da indústria 4.0, que busca pela alta produtividade. Sendo assim, a automatização de processos complexos, ainda mais quando relacionado a cálculos e projetos de equipamentos, é um fator que deve ser cada vez mais empregado, melhorado e difundido no ramo industrial.

REFERÊNCIAS

- [1] FOGLER H. SCOTT. Elementos de Engenharia das Reações Químicas. 4ª edição. Rio de Janeiro, RJ. LTC, 2012.
- [2] CUTLIP, MICHAEL B.; SHACHAM, MORDECHAI. Problem Solving in Chemical and Biochemical Engineering with POLYMATH, Excel, and MATLAB. 2ª edição. Patience Hall, 2008.
- [3] LEVENSPIEL, OCTAVE. ENGENHARIA DAS REAÇÕES QUÍMICAS. 3ª edição. Edgard Blucher, 2000.
- [4] WOJECCHOWSKI J.P.; PRAXEDES M.A. USO DA LINGUAGEM VBA-EXCEL PARA DESENVOLVIMENTO DE UM PROGRAMA DE SIMULAÇÃO E AJUSTE DE PARÂMETROS EM MODELOS DE PROCESSOS FERMENTATIVOS ALCOÓLICOS. Universidade Federal de Ponta Grossa, Ponta Grossa, PR, 2015.

Capítulo 5

Comportamento em fadiga de uma liga de alumínio aeronáutico 7475 T761

Marcelino Pereira do Nascimento

Resumo: A segurança de vôo tem sido a principal preocupação das autoridades aeronáuticas em todo o mundo. A ocorrência de falha estrutural em vôo normalmente está ligada à fadiga do material, erro de projeto ou sobrecarga aerodinâmica. Fadiga em aeronaves tem sido tema de extensivas investigações desde a década de 1950, após os acidentes que envolveram o modelo inglês "Comet". Atualmente, fadiga ainda é a mais importante consideração de projeto, de fabricação e de manutenção em aeronaves civis e militares. Em geral, estima-se que pelo menos 90% das falhas em serviço de componentes que sofrem movimento, de uma forma ou de outra, são atribuídas à fadiga dos materiais. Ligas de alumínio são aplicadas em cerca de 70% dos componentes estruturais dos aviões, dentre as quais as ligas da família 2XXX e 7XXX, tratadas termicamente, são as mais utilizadas. O objetivo deste trabalho foi analisar o comportamento em fadiga de uma liga de alumínio 7475 T761, de grau aeronáutico, aplicada em longarinas, anéis da estrutura interna do corpo do avião, no trem de pouso e na estrutura interna das asas, nas direções longitudinal e transversal (anisotropia). Análises microestruturais, de microdureza e das superfícies de fratura complementaram este trabalho.

Palavras-Chave: Fadiga em estruturas aeronáuticas, Segurança de voo, Liga de Alumínio Aeronáutico.

1. INTRODUÇÃO

A segurança de voo tem sido a principal preocupação das autoridades aeronáuticas em todo o mundo. Como resultado, a média mundial do índice de acidentes por milhão de decolagens de jatos de grande porte fabricados no Ocidente tem-se situada no patamar de 1,2. No Brasil, a prevenção de acidentes aeronáuticos tem evoluído de tal forma que o índice de 181 por 7 494 aeronaves existentes em 1990, passou para 68 por 10 681 do total de aeronaves oficialmente registradas em 2003 (ANAC/DAC, 2003). A ocorrência de falha estrutural em voo normalmente está ligada à fadiga do material, erro de projeto ou sobrecarga aerodinâmica (Goranson, 1993). Fadiga em aeronaves tem sido tema de extensivas investigações desde a década de 1950 após os acidentes que envolveram o modelo inglês “Comet” (Payne, 1976). Atualmente, fadiga ainda é a mais importante consideração de projeto, de fabricação e de manutenção em aeronaves civis e militares. Muitas das fraturas de materiais são causadas por fadiga proveniente de projetos inadequados, ou entalhes produzidos durante a fabricação ou manutenção das aeronaves (Wenner & Drury, 2000). Erros em operações de manutenção, especialmente, têm resultado em sérios problemas de segurança e causas de acidentes fatais (Latorella & Prabhu, 2000). Em geral, estima-se que pelo menos 90% das falhas em serviço de componentes que sofrem movimento, de uma forma ou de outra, são atribuídas à fadiga dos materiais (Nascimento, 2004; Dieter, 1981).

Durante o voo, um avião está sujeito a cargas repetidas das mais variadas grandezas e frequências. As condições de operação envolvem decolagem e aterrissagem a altas cargas e voo em altas velocidades. O avião hoje projetado é o resultado de critérios de cálculos em que são analisadas não só a resistência da estrutura, mas também a extensão da sua vida (Tolerância ao Dano) (Nascimento, 2004).

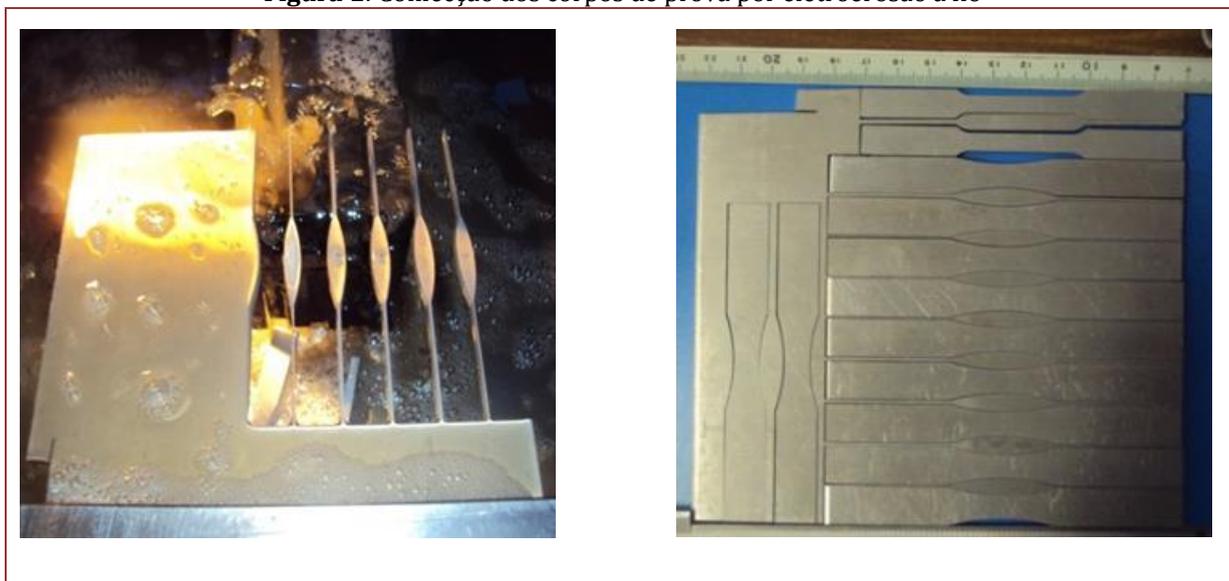
Para voar, uma aeronave precisa necessariamente de um fluxo constante de ar pelas asas, para a sua sustentação, a qual está sujeita a quatro forças básicas: peso, sustentação, arraste e empuxo (Revista Alumínio, 2011). Quanto ao empuxo, as aeronaves são classificadas em: monomotores, bimotores, turbo hélices, a jato e supersônicos. Quanto aos materiais utilizados em estruturas aeronáuticas, a maior parte é construída de titânio, aço e alumínio, mas a grande tendência é utilizar materiais ainda mais leves como plásticos e compósitos. Para seleção de novos materiais, os critérios principais são resistência à fadiga, resistência à corrosão, pesos e resistência mecânica (Revista Alumínio, 2011). Para crescer com o mercado, a indústria do alumínio também tem investido em pesquisa e desenvolvimento de ligas que permitam ao metal continuar na liderança como insumo principal para a fabricação do avião reduzindo em até 10% o peso da aeronave e em 30% os custos de manufatura e manutenção se comparadas às de materiais compósitos, como a fibra de carbono (Revista Alumínio, 2011). No setor aeronáutico, as ligas de alumínio são aplicadas em cerca de 70% dos componentes estruturais, com destaque para as ligas das famílias 2XXX e 7XXX, tratadas termicamente e solubilizadas (Pereira, 1995). De acordo com Pereira (1995), as ligas de alumínio da série 7XXX, por serem mais resistentes mecanicamente podem ser encontradas tanto em estruturas das asas, como também em partes da fuselagem. A liga de alumínio 7475 é descrita como um material de resistência controlada desenvolvida para aplicações em chapas e placas que exigem uma combinação de alta resistência, boa tenacidade à fratura e superior resistência à propagação de trinca de fadiga. Os valores da tenacidade típicos para a liga 7475 em placa são cerca de 40% maiores do que a liga 7075, com os mesmos tratamentos térmicos de têmpera e controle rigoroso de impurezas (Fe e Si). A resistência à corrosão e o comportamento à fadiga da liga 7475 são iguais e, em alguns casos, melhores do que muitas das atuais ligas aeroespaciais de alta resistência, como as ligas 7075, 7050 e 2024. Este trabalho teve como objetivo determinar o comportamento em fadiga axial de uma liga de alumínio da série 7475-T761, utilizada em componentes críticos à segurança de voo de aeronaves, como longarinas, anéis da estrutura interna do corpo do avião, no trem de pouso e na estrutura interna das asas (módulos de caixa), com especial ênfase às suas características anisotrópicas.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1 MATERIAL

O material usado para análise foi a liga de alumínio 7475-T761 em chapas de 150 mm x 150 mm x 5 mm. Das chapas citadas, foram inicialmente cortadas três amostras para embutimento e análise microestrutural e para os corpos de prova de tração e fadiga, estes tanto no sentido longitudinal como no transversal. A Figura 1 apresenta as etapas de confecção dos corpos de prova no equipamento de eletroerosão a fio de 0,018 mm de diâmetro, marca +GF+ AgieCharmilles, instalada na Oficina Mecânica do Departamento de Materiais e Tecnologia da FEG/UNESP.

Figura 1: Confeção dos corpos de prova por eletroerosão a fio



2.2. MÉTODOS

2.2.1 ANÁLISE METALGRÁFICA E MICRODUREZA

O procedimento para preparação das amostras metalográficas envolveu o lixamento com papel de granulometria decrescente de 200, 400, 600, 1000, 1200, 1500 *mesh*, seguido de polimento utilizando solução de alumina para lubrificar e tirar os riscos do lixamento anterior. Para o ataque químico foi utilizado o reagente Keller, formado por 10 ml de ácido fluorídrico (HF) concentrado; 1,5 ml de ácido clorídrico (HCl) concentrado; 25 ml de ácido nítrico (HNO₃) concentrado e 50 ml de água destilada. O ataque durou de 10 a 20 segundos e foi feito por imersão, interrompido por água corrente.

As medições de microdureza foram realizadas seguindo as recomendações da norma ASTM E384 e em um microdurômetro de marca *Wilson Instruments*, modelo 401 MVD, com uma carga de 300g.

2.2.2 ENSAIOS MECÂNICOS DE TRAÇÃO E FADIGA AXIAL

Ambos os ensaios de tração e de fadiga axial foram realizados na temperatura ambiente e em uma máquina universal de ensaios marca INSTRON 8801 de 100 kN de capacidade. Os ensaios de tração foram realizados com velocidade de deslocamento de 2mm/min, seguindo as recomendações da norma ASTM E8M. Os ensaios de fadiga axial foram realizados com razão de carregamento senoidal R=0,1 e frequência de 20 Hz até a fratura ou 10⁶ ciclos (em razão da inexistência do limite de resistência à fadiga), seguindo as recomendações da norma ASTM E466.

2.2.3 ANÁLISE DA SUPERFÍCIE DE FRATURA POR MEV

A análise da superfície de fratura foi realizada em um microscópio eletrônico de varredura de marca ZEISS, modelo EVO/LS15, equipado com detector de elétrons secundários E/T (*Everhart/Thornley*) e detector de elétrons retroespalhados de semicondutores de quatro polos. A microscopia foi realizada com elétrons secundários (SE) e tensão de aceleração de 10 kV.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os resultados da porcentagem em massa da composição química da liga de alumínio 7475-T761, comparativamente aos valores especificados. Constata-se que o material do estudo atende às especificações estabelecidas.

Tabela 1: Composição química (% em massa) da liga de alumínio 7475-T761

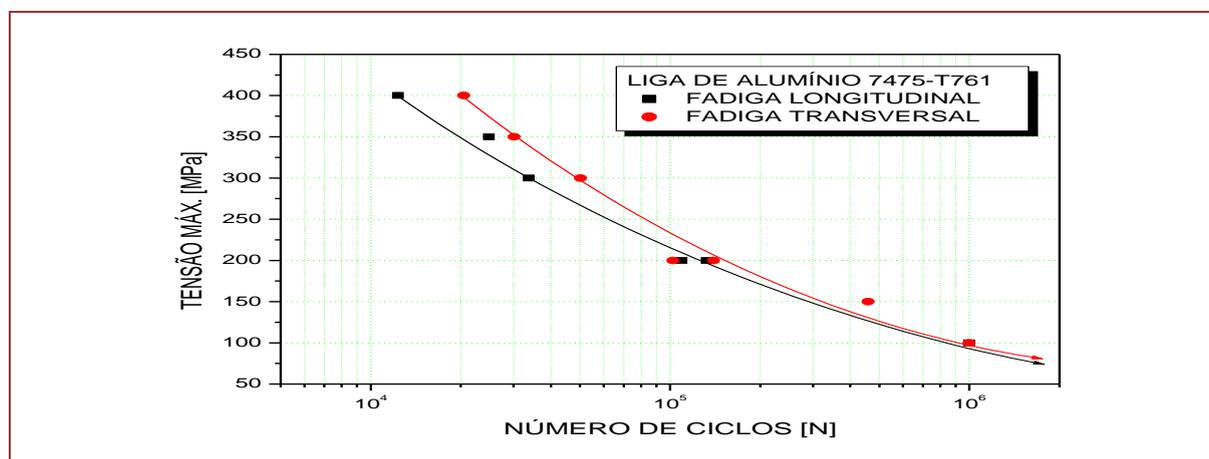
Peso (%)	Al	Zn	Cu	Mg	Mn	Cr	Si	Ti	Fe
Especificado	balanço	5,2-6,2	1,2-1,9	1,9-2,6	0,06 máx	0,18-0,25	0,10 máx	0,06 máx	0,12 máx
Encontrado	balanço	5,70	1,40	2,00	0,02	0,25	traços	0,03	0,10

A família da série 7XXX apresenta o zinco como principal elemento de liga e quando contém pequenas quantidades de magnésio torna-se uma liga tratável termicamente, com alta resistência mecânica. Normalmente, outros elementos como o cobre e o cromo são também acrescentados em pequenas quantidades, como pode ser constatado na Tabela 1.

Os ensaios de microdureza foram realizados com a finalidade de verificar a uniformidade microestrutural da chapa e avaliar os efeitos da deformação a frio e dos tratamentos térmicos realizados na liga. Os valores de microdureza obtidos foram: 270 HV \pm 20 HV na direção transversal; e 275 HV \pm 15 HV na direção longitudinal. Consta-se que os valores obtidos foram muito próximos, indicando não haver anisotropia na propriedade em questão em ambas as direções.

Os resultados dos ensaios de tração da liga do estudo apresentaram os seguintes valores: tensão limite de resistência à tração $\sigma_{LR} = 585 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$; tensão limite de escoamento $\sigma_{LE} = 488 \text{ MPa} \pm 51 \text{ MPa}$; alongamento total $AL = 45\% \pm 1\%$. O limite de escoamento mínimo aceitável em tração para a liga de alumínio 7475-T761 é de 462 MPa. Portanto, o material da liga em estudo se enquadra no padrão estabelecido.

A Figura 2 apresenta os resultados dos ensaios de fadiga axial nas direções longitudinal e transversal da liga de alumínio 7475-T761.

Figura 2: Curvas S-N (Tensão vs. Número de ciclos) da liga de alumínio 7475-T61 nas direções longitudinal e transversal

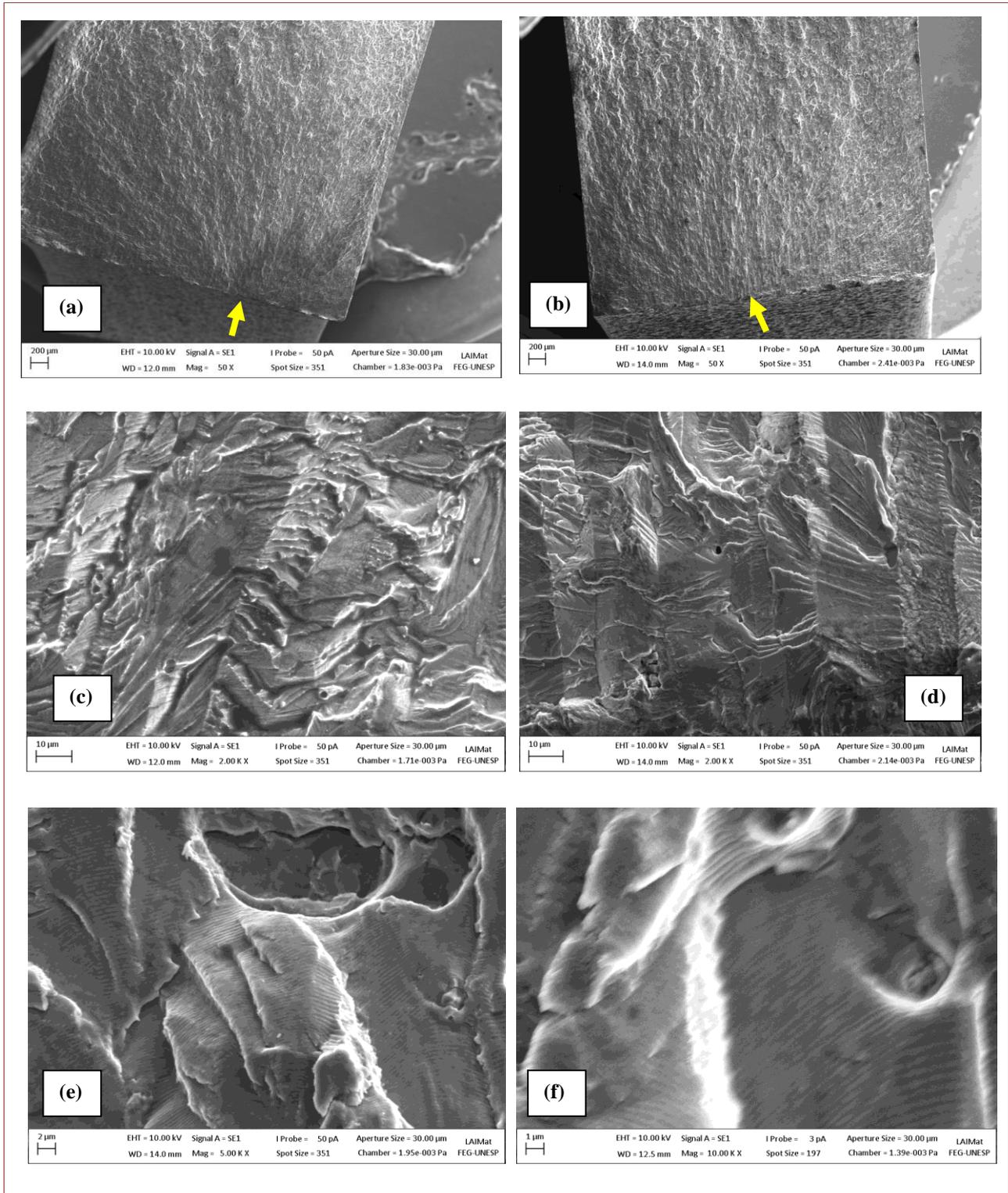
Observa-se, na Fig.2, que os comportamentos em fadiga axial de ambas as direções longitudinal e transversal da liga de alumínio são semelhantes, o que corrobora a isotropia deste material já bem estabelecida e difundida. É bem conhecido que as ligas de alumínio apresentam valores muito próximos do módulo de elasticidade na direção longitudinal e na transversal, implicando baixa anisotropia. Isto se deve fundamentalmente à estrutura cúbica de face centrada (CFC), característica do material.

Sobre as curvas da Fig. 2, observa-se que a liga de alumínio 7475-T761 apresenta um comportamento em fadiga bem definido, em ambas as direções, e inserido em um invólucro de 300 MPa, correspondente à vida em fadiga de 10⁴ ciclos a 10⁶ ciclos. Ora, um dano superficial (sulcos e riscos) causado por ferramentas durante processo de manutenção, por exemplo, ou oriundo de pequenos impactos durante um voo, podem facilmente gerar uma concentração de tensão localizada de 300 MPa, reduzindo a vida em fadiga da liga de alumínio de um milhão de ciclos para dez mil ciclos, o que requer extrema atenção e cuidado.

Observa-se também, na Fig. 2, que o nível de tensão diminui continuamente com o aumento no número de ciclos, i.e., sem apresentar o patamar (*plateau*) correspondente ao limite de fadiga, abaixo do qual se considera que o material tem vida infinita. A ausência desse patamar é uma característica dos materiais não ferrosos (exceto titânio), como as ligas de alumínio.

A Figura 3 apresenta imagens das superfícies de fratura dos corpos de prova longitudinal e transversal submetidos aos ensaios de fadiga.

Figura 3: Detalhes das superfícies de fratura dos corpos de prova longitudinal e transversal apresentando: (a) e (b) os pontos de nucleação das trincas; (c) e (d) aspecto facetados tipo espinha de peixe; (e) e (f) estrias de fadiga, correspondentes ao estágio II de propagação estável da trinca (transgranular).



Observa-se que a origem do processo de fadiga se deu a partir das arestas laterais (ao longo da espessura) em ambos os corpos de prova das Figs. 3(a) e (b). As Figuras 3(c) e (d) mostram o primeiro estágio (I) do processo de fadiga, típico para metais dúcteis, apresentando um aspecto facetado conhecido como espinha de peixe, caracterizando uma pequena zona plástica na ponta da trinca de fadiga, limitada a apenas alguns grãos em razão do pequeno valor do fator intensidade de tensão. As Figuras 3(e) e (f) apresentam as superfícies transgranulares de fratura típicas de um processo de fadiga em que a trinca se propaga estavelmente gerando marcas conhecidas como estrias cuja extensão corresponde a cada ciclo do carregamento, na vida do material em determinada tensão.

5. CONCLUSÕES

Neste estudo foram verificadas e analisadas algumas características mecânicas de uma liga de alumínio 7475-T761, de grande emprego em componentes aeronáuticos e aeroespaciais críticos à segurança de voo e de alta responsabilidade.

Com base nos resultados obtidos, algumas conclusões podem ser apresentadas:

- as propriedades mecânicas da liga corresponderam às citadas na literatura;
- os valores de microdureza obtidos foram próximos em ambas as direções longitudinal e transversal, em consonância às características microestruturais típicas da liga;
- da mesma forma, os comportamentos em fadiga da liga em ambas as direções longitudinal e transversal foram semelhantes;
- com base nas curvas de fadiga do material em ambas as condições, pode-se inferir que um dano superficial (sulcos e riscos) causado por ferramentas durante processo de manutenção, por exemplo, ou oriundo de pequenos impactos durante um voo, podem facilmente gerar uma concentração de tensão localizada de 300 MPa, reduzindo a vida em fadiga da liga de alumínio de um milhão de ciclos para dez mil ciclos, o que requer extrema atenção e cuidado;
- as semelhanças observadas de propriedades mecânicas e nos comportamentos em fadiga corroboram que a liga de alumínio 7475-T761 apresentou propriedades isotrópicas.

AGRADECIMENTO

Marcelino P. Nascimento é grato ao CNPq e à FAPESP pelos apoios em processos anteriores.

REFERÊNCIAS

- [1] Camargo, A.M. 2011. "Firmeza no Ar". Revista Alumínio. Inovação. 29 Ed., p. 1-2.
- [2] Departamento de Aviação Civil / DAC, <http://www.anac.gov.br>, acessado em novembro de 2003.
- [3] Dieter, G. E. 1981, "Metalurgia Mecânica". Editora Guanabara Koogan, Rio de Janeiro/RJ, 2 Ed., Vol.1, 653p.
- [4] Goranson, U. G., 1993, "Fatigue issues in aircraft maintenance and repairs", International Journal of Fatigue, Vol. 19, pp. S3-S21.
- [5] Latorella, K. A., Prabhu, P. V., 2000, "A review of human error in aviation maintenance and inspection", International Journal of Industrial Ergonomics, Vol. 26, pp. 133-161.
- [6] Nascimento, M. P., 2004, "Retrabalhos em Estruturas Aeronáuticas Soldadas de Aço ABNT 4130 – Em foco: Berços de Motores de Aeronaves", Tese. Doutorado em Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista/UNESP, 240p.
- [7] Payne, A. O., 1976, "The fatigue of aircraft structures", Engineering Fracture Mechanics, Vol. 8, pp.157-203.
- [8] Pereira, M. P. C., 1995, "Fadiga na liga Al 7475". Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade de São Paulo (USP) – Escola de Engenharia de Lorena/EEL, 209 p., Lorena/SP
- [9] Wenner, C. A., Drury, C. G., 2000, "Analysing human error in aircraft ground damage incidents", International Journal of Industrial Ergonomics, Vol. 26, pp. 177-199.

Capítulo 6

Análise da fratura de um sistema de transporte de gás exposto em meios agressivos

Edson Carlos da Silva

Jorge Luiz Rosa

Camila Stephanie Gonçalves Ferreira

José Rubens de Camargo

Amir Rivaroli Junior

Emerson Augusto Raymundo

Resumo: A ideia básica desse projeto de pesquisa surgiu na busca a uma ação preventiva, pois a empresa passou por um processo de parada não programada dentro de um sistema de tubulação contínua, colocando em risco a segurança da planta, gerando desperdícios, gastos excessivos com manutenção e tempo de retorno operacional. Foram realizados estudos neste processo investigativo por meio de análises composição química para identificação do aço em questão, análises metalográficas, ensaios mecânicos e análise de fratura dos ensaios e da região comprometida. Por meio das análises macroscópicas e pela microscopia eletrônica de varredura, verificou-se que a fratura no tubo era uma fratura frágil com aspectos de clivagem. O sistema de tubulação fragilizou-se por conta das baixas temperaturas de trabalho. Essa perda de ductilidade também pode ser observada nos resultados dos testes de impacto. Assim pode se concluir que por meio das informações obtidas e a combinação de vários fatores contribuíram para que ocorresse a fratura.

Palavras-Chave: Corrosão; análise metalográfica; mecanismo de fratura frágil.

1. INTRODUÇÃO

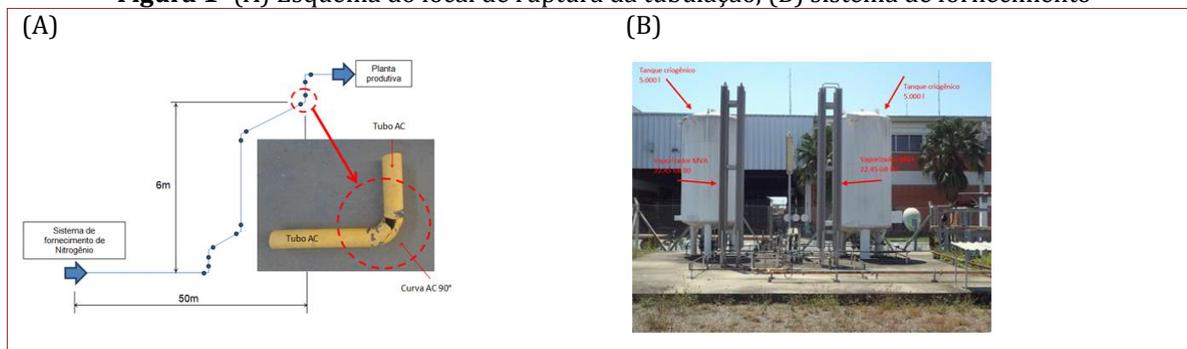
O envelhecimento dos aços ou o processo de fluência pode aumentar o risco de fratura podendo gerar perdas econômicas significativas e ainda consequências ambientais. A prevenção de falhas geralmente é realizada por atividades de monitoramento contínuo. Inspeções visuais e medições de ultrassom ajudam a detectar a formação e propagação de trincas (GABETTA et al., 2008) (FASSINA, et al., 2012).

O mecanismo de fratura em temperatura de transição pode ocorrer, a fratura neste processo pode ter aparência microscópica de clivagem que é uma superfície de pequena deformação plástica ao longo do plano cristalino, já fraturas acima da temperatura de transição pode apresentar aspectos microscópicos chamado de “dimples”, que são pequenos vazios agrupados, esses “dimples” também chamados de microvazios coalescentes, são provenientes de deformação plástica induzida (DOWLING, 1993). A degradação do material da tubulação pode ser observado por meio de testes mecânicos ou análises metalográficas por meio de amostras extraídas da própria parede do tubo. No entanto, as análises das estruturas metálicas podem conter alternativas não destrutivas mais rápidas e de menores custos. Em particular, metodologias de caracterização mecânica baseadas em técnicas de identificação, como líquido penetrante e ultrassom podem ser consideradas neste contexto. Este trabalho teve como objetivo analisar a fratura para que pudesse altera-se qualquer parâmetro ou item do componente da conexão.

2. METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido numa empresa multinacional do segmento químico e petroquímico localizada no município de Guaratinguetá/SP. O evento do presente estudo aconteceu em suas instalações a cerca de 50 metros de um parque de tanques criogênicos que faziam o fornecimento de nitrogênio gasoso por intermédio de vaporizadores a uma temperatura de aproximadamente 25°C e pressão de operação de 14 bar. A imagem da Figura 1 mostra a tubulação instalada a 6 m de altura, por um “pipe rack” que garante a vedação da selagem do sistema de agitação de um reator numa planta produtiva.

Figura 1- (A) Esquema do local de ruptura da tubulação, (B) sistema de fornecimento

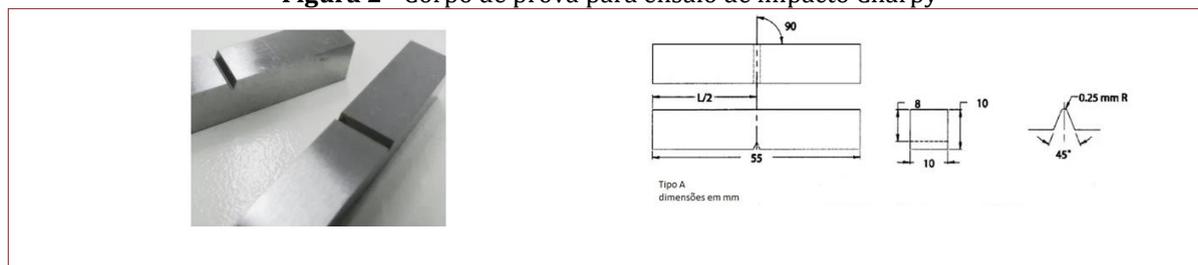


Fonte: Próprio autor (2019).

O sistema de fornecimento é apresentado na Figura 1 (b) que é composto por dois tanques criogênicos com capacidade de 5000 litros cada, modelo CSNT5000, possui dois conjuntos de vaporizadores, modelo MVA GB80, totalizando 160 Nm³/h ligados em paralelo, suficiente para cobrir uma demanda máxima anual de 41,33 m³/h que é aproximadamente ¼ da capacidade total do sistema. Após a detecção do rompimento, como ilustrado na Figura 1(A), realizou-se uma investigação no “pipe rack” do conjunto de acessórios da tubulação de 2” de diâmetro. Este rompimento bloqueou o fornecimento do nitrogênio gasoso para o interior do selo no sistema de agitação do reator na planta produtiva. Os acessórios da tubulação incluíam uma curva de 90°, material AC ASTM A234 Gr. WPB soldada numa seção de um trecho da tubulação de 2” de diâmetro em material AC ASTM A106 Gr. B. Baseado nas informações obtidas pelo fornecedor, do projeto de instalação e da operação; foram-se levantadas hipóteses que poderiam ter causado a fratura tais como, fadiga da tubulação, desalinhamento na linha, golpes de aríetes, tensão residual de processos de soldagem, corrosão, vazamento de nitrogênio líquido na tubulação. Em seguida foi proposto a obtenção das amostras fragmentadas a fim de realizar-se uma investigação técnica das possíveis causas que poderiam ter levado a ocorrer à fratura. Realizaram-se ensaios, tais como, análise química, análise metalográfica, análise de impacto e microscopia eletrônica de varredura (MEV).

A análise química foi realizada na própria empresa, utilizando-se um espectrômetro de emissão óptica da marca ESPECTROMAXX, modelo MLSP-01. Para as análises metalográficas foi utilizado o reagente químico Nital 5%, composição 5 ml de ácido nítrico concentrado (HNO₃) e 95 ml de álcool. A aplicação foi feita em temperatura ambiente. Foi realizado um ensaio de impacto que teve como objetivo uma avaliação da resistência ao impacto dos corpos de prova em diferentes temperaturas para uma relação com o processo de fratura ocorrida. Os corpos de provas foram entalhados nas dimensões especificadas em norma técnica conforme pode ser visualizado por meio da Figura 2.

Figura 2 - Corpo de prova para ensaio de impacto Charpy



Fonte: Próprio autor (2019).

O ensaio foi realizado em temperaturas de 25°C, 0°C, -10°C, -20°C, -30°C, -40°C e -50°C até a temperatura de -20°C, o resfriamento foi conduzido por meio de um banho termostizado, controlado por uma câmara, as reduções de temperatura ocorreram gradualmente em meio a nitrogênio líquido e acetona, a temperatura foi controlada com o auxílio de um termômetro digital.

3. RESULTADOS

O resultado obtido na análise química da amostra no tubo revela a composição química de um aço carbono ASTM A106 Gr. B, de acordo com o padrão ASTM A106 na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição química do aço carbono na tubulação em percentagem

Elementos	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Co
Concentração	0,24	0,166	0,89	0,03	0,02	0,04	0,01	0,04	0,01	0,01
Elementos	Cu	Nb	Ti	V	Pb	Sn	W	B	N	Fe
Concentração	0,01	0,004	0,01	0,001	0,004	0,001	0,01	0,01	0	98,5

Fonte: Próprio autor (2019).

O resultado obtido na análise química da amostra na curva de 90° revela a composição química de um aço carbono ASTM A234 Gr. WPB, de acordo com o padrão ASTM A234, conforme pode ser visualizado na Tabela 2.

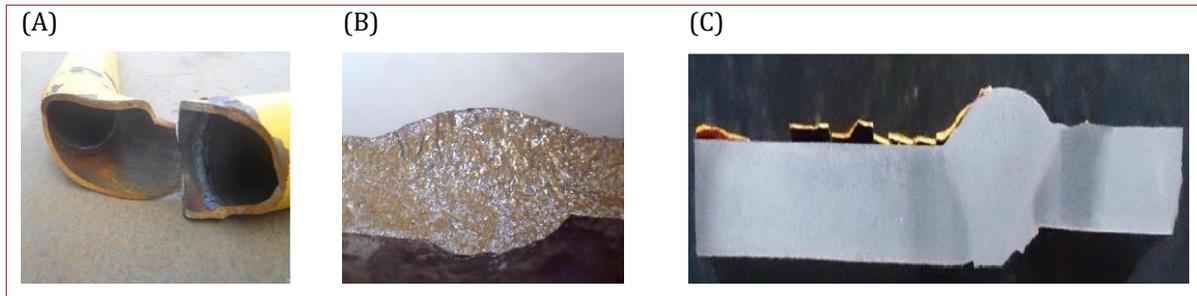
Tabela 2 - Concentração de elementos químicos na curva de 90° em percentagem

Elementos	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Co
Concentração	0,267	0,236	0,5	0,029	0,01	0,062	0,002	0,036	0,015	0,023
Elementos	Cu	Nb	Ti	V	Pb	Sn	W	B	N	Fe
Concentração	0,004	0,004	0,001	0,001	0,003	0,001	0,010	0,001	0	98,8

Fonte: Próprio autor (2019).

A Figura 3 (A e B) representa as superfícies de fratura do tubo, do cotovelo e a macrografia (C) da região da solda do tubo.

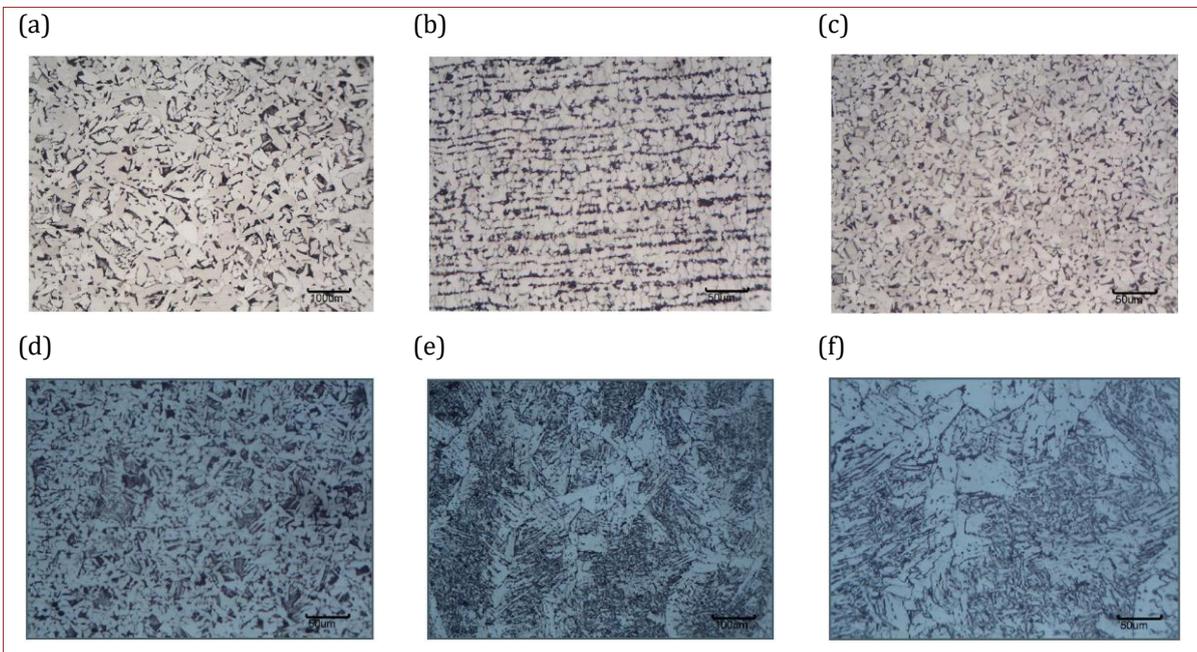
Figura 3 - (A), (B) Imagens da região fraturada, (C) Macrografia da região soldada da fratura



Fonte: Próprio autor

A Figura 4 expõe os resultados das micrografias das regiões fraturadas do cotovelo e dos acessórios.

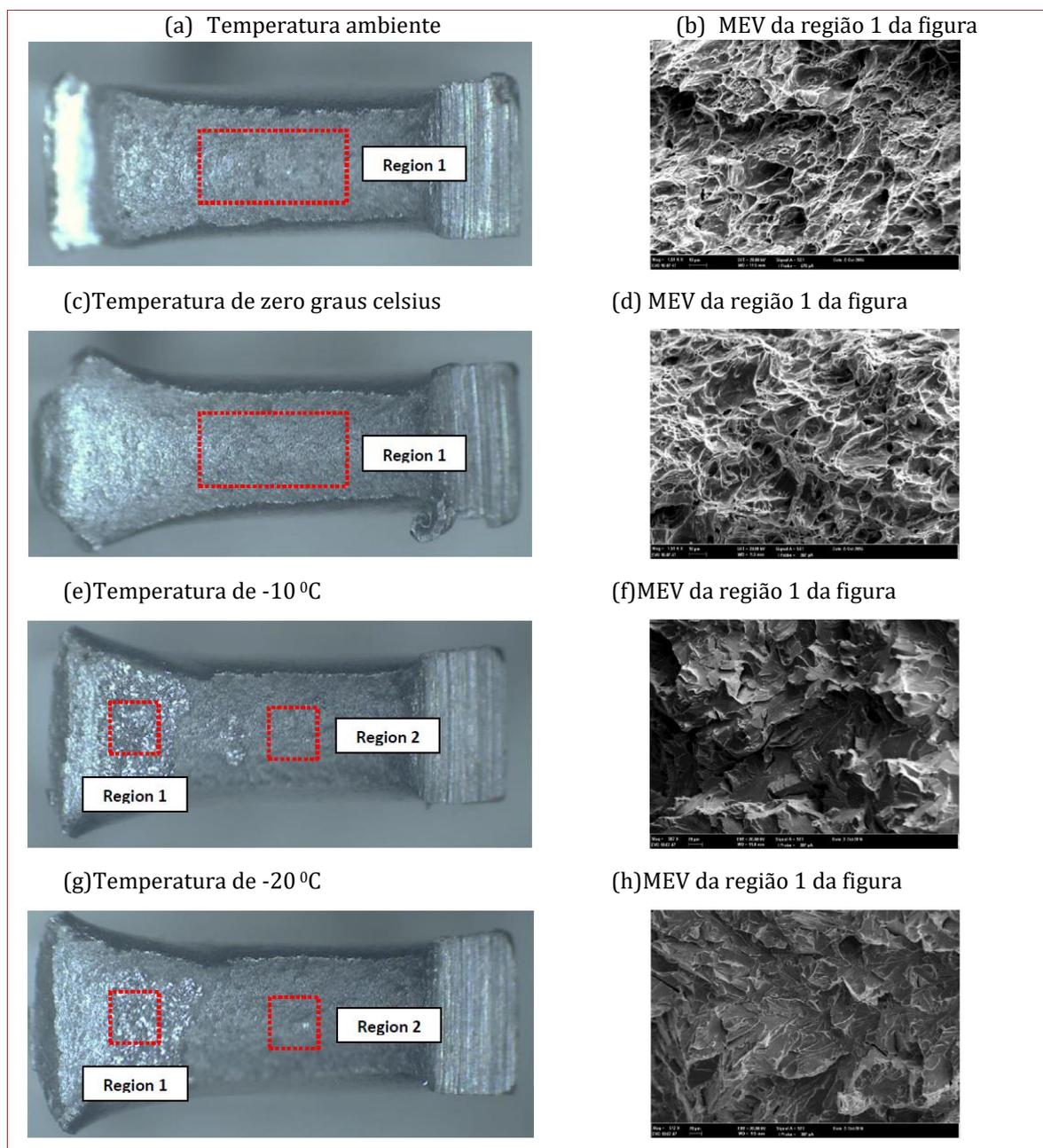
Figura 4 - Micrografias das regiões fraturadas



Fonte: Próprio autor (2019).

As imagens da Figura 5 representam as análises por microscopia eletrônica de varredura da região fraturada.

Figura 5 - Imagens dos ensaios de impacto Charpy



Fonte: Próprio autor (2019).

4. DISCUSSÃO

Como relação aos dois tipos de materiais envolvidos no processo de soldagem e o processo de soldagem em si, a composição química não diferem muito na concentração de carbono, as diferenças estariam na concentração de silício e manganês, esses elementos contribuem de alguma maneira nas propriedades mecânica dos aços. O silício, por exemplo, aumenta a resistência ao desgaste, porém, torna o material menos dúctil. O manganês aumenta o campo da austenita, neste sentido os dois componentes aproximam em convergência em relação à fragilidade e ductibilidade respectivamente, ou seja, quando um tem um teor maior de manganês o outro tem uma concentração maior de silício. Por outro lado, o manganês pode aumentar a dureza quando houver uma concentração de tensão, por esse motivo utiliza-se em indústrias de rodas e ferrovias. Nas imagens da Figura 3, pode-se notar que a característica da fratura, assemelha-se a uma fratura frágil, mesmo por meio da evidente corrosão na sua superfície. Foi possível visualizar também um aspecto espelhado da fratura, que é característica resultante de falha frágil. O cordão de solda não apresentou visualmente descontinuidades.

Por meio das análises metalográficas, foi possível observar que a microestrutura da tubulação e do acessório da tubulação, cotovelo de 90°, era formada por ferrita e perlita como pode ser observado por meio das imagens (a) e (b) respectivamente da Figura 4, estruturas típicas de aços de baixo carbono. Pode ser observado ainda que no acessório os grãos se apresentaram mais finos do que o material do tubo. Esta diferença é considerada normal, pois os processos de fabricação desses componentes são diferentes, sendo o tubo laminado e os acessórios de tubulações são forjados. A imagem (c) da mesma Figura 4 representa a zona termicamente afetada da região da solda, pode ser visualizada uma formação de grãos ferríticos e perlíticos de geometria não uniforme.

As imagens (d) da Figura 4 representa a zona termicamente afetada do cotovelo, pode ser observado que há diferença perante a imagem (c) da ZTA da metade do tubo, a presença da perlita é mais intensa e com pequenas frações de estruturas martensíticas. As imagens (e) e (f) pertencem à zona fundida da solda do metal de adição, nota-se a presença de ferrita Widmanstätten e perlita com perfil idiomórfico. Por meio das análises realizadas em MEV dos ensaios de impacto proposto, pode ser visualizada duas regiões com diferentes mecanismos de fratura, por clivagem e fratura dúctil, imagens (b) e (d) da Figura 5. A fratura por clivagem pode ocorrer em materiais que apresentam baixa resistência mecânica em situações que estão a baixas temperaturas. Conforme foi diminuindo as temperaturas dos ensaios e aproximando a região da extremidade do corpo de prova às fraturas por clivagem foi se tornando mais evidentes, como pode ser observado através das imagens (f) e (g) da Figura 5. Não foi observada neste trabalho a temperatura de transição do material, pois poderia levar a condição de fragilização, pois os processos de fragilização podem ocorrer por alguns fatores, a temperatura de transição inerente do material que pode ser aminizado por adição de vários elementos de liga, porém neste material a concentração está muito abaixo para que isso fosse diminuído.

Outra situação da perda resistência seria concentração de tensão ou aparecimento de outra componente de tensão, ou seja, de tensões bidimensionais para tridimensionais, se enquadrando o material na teoria da mecânica de fratura elasto-plástica MFEL, saindo do conceito dúctil para frágil. Outro fator que pode auxiliar seria o aparecimento de uma terceira tensão de cisalhamento, a corrosão pode auxiliar neste processo. A concentração desta tensão no eixo "z" pode se igualar as tensões do plano x e y levando a condições hidrostáticas. Esse evento geométrico pode ser representado pela teoria Von Mises, ou seja, sai do círculo de Mohr para materiais dúcteis para materiais frágeis.

5. CONCLUSÃO

Após os testes realizados nas amostras enviadas para análises, concluiu-se que os acessórios da tubulação estavam em conformidade com o especificado pelo cliente, tanto na composição química quanto na resistência mecânica. A microestrutura dos componentes apresentou consistente ou conforme especificado. A qualidade do cordão de solda foi analisada por satisfatória, não mostrou descontinuidades que poderiam inutilizar sua aplicação.

Com relação às análises macro e microscópica, verificou-se que a fratura no tubo foi de maneira geral fratura frágil por clivagem. O sistema de tubulação se apresentou como material frágil quando foi submetido a baixas temperaturas. A perda da ductilidade pode ser observado por meio do teste de impacto.

Pode-se concluir que depois das análises e testes realizados nos laboratórios, ou seja, por meio das investigações junto ao processo e as informações colhidas em campo que o rompimento pode ter sido por uma combinação de dois fatores, tais como, a corrosão e concentração de tensão principalmente a baixas temperaturas. O projeto de abastecimento do gás nitrogênio não possuía uma válvula de estanque que garantia no momento em que não se tinha consumo pela produção, o sistema não liberaria o nitrogênio líquido em baixas temperaturas para a tubulação levando a acumular em pequenas quantidades principalmente no componente de estudo, logo o processo de corrosão poderia se instalar. Com relação a trabalhos futuros poderá ser analisada a temperatura de transição, os efeitos do processo de corrosão na concentração de tensão, a relação com as teorias da mecânica de fratura e desenvolvimento de projeto e layout.

REFERÊNCIAS

- [1] BOLZON, G.; MOLINAS, B.; TALASSI, M. Mechanical characterisation of metals by indentation tests: an experimental verification study for onsite applications, *Strain*, 48(6), 517–527, 2012.
- [2] DOWLING, N.E. *Mechanical Behavior of Material, Engineering Methods for Deformation, Fracture and Fatigue*, Prentice – Hall International, edition, p.309-310,1993.
- [3] FASSINA, P.; BOLZONI, F.; FUMAGALLI, G.; LAZZARI, L.; VERGANI, L.; SCIUCCATI, A. Influence of hydrogen and low temperature on behavior of two pipeline steels, *Engineering Fracture Mechanics*, 81, p. 43–55, 2012.
- [4] GABETTA, G.; NYKYFORCHYN, H.; LUNARSKA, E.; ZONTA, P.P.; TSYRULNYK, O.T.; NIKIFOROV, K.; HREDIL, M.I.; PETRYNA, D.YU.; VUHERER, T. In-service degradation of gas trunk pipeline X52 steel, *Materials Science*, 48(1), p.104–119, 2008.

Capítulo 7

Section Thickness Effects on Mechanical Properties of SiMo CGI for Turbocharger Housings

Wilson Luiz Guesser (in memoriam)

Ângelo Carlos Gamba

Carlos de Souza Cabezas

Abstract: In order to decrease fuel consumption and CO₂ emissions, the use of downsized engines, with turbochargers, is a very important alternative for engines of passenger cars. Among the materials for exhaust manifolds and for turbocharger housings, silicon molybdenum compacted graphite iron (SiMo CGI) has been used for automotive application, with some advantages over SiMo ductile irons, like thermal conductivity. This paper describes how the section thickness affect the microstructure and mechanical properties of the part. For the experimental work, it was selected two types of test pieces and one turbocharger housing, covering section thickness from 5 to 60 mm, and with solidification times from 17 to 600 seconds. The results show that tensile strength can growth from 450 MPa (the minimum specification value) up to 600 MPa with decreasing section thickness. The results can be used to predict mechanical properties in all places of the casting, with a focus on the critical ones, looking to reduce weight and increase safety of the part.

1. INTRODUCTION

The requirements for reducing fuel consumption in engines has brought new challenges for the designers and manufacturers of internal combustion engines. The results obtained are based on a large number of innovations in the vehicle. The downsizing approach, aiming to reduce the engine size, brings weight reductions for a large set of components, resulting in a compact and lightweight engine. This technology is normally associated with turbocharging, to change the combustion conditions and to increase the power.

Different ferrous alloys may be used for turbocharger housings, and their selection depends mainly on the temperature of the combustion gases. The same applies to exhaust manifolds [1]. One alloy of increasing use in these applications is compacted graphite iron alloyed with silicon and molybdenum (SiMo CGI), which combines good mechanical properties with oxidation resistance and thermal conductivity.

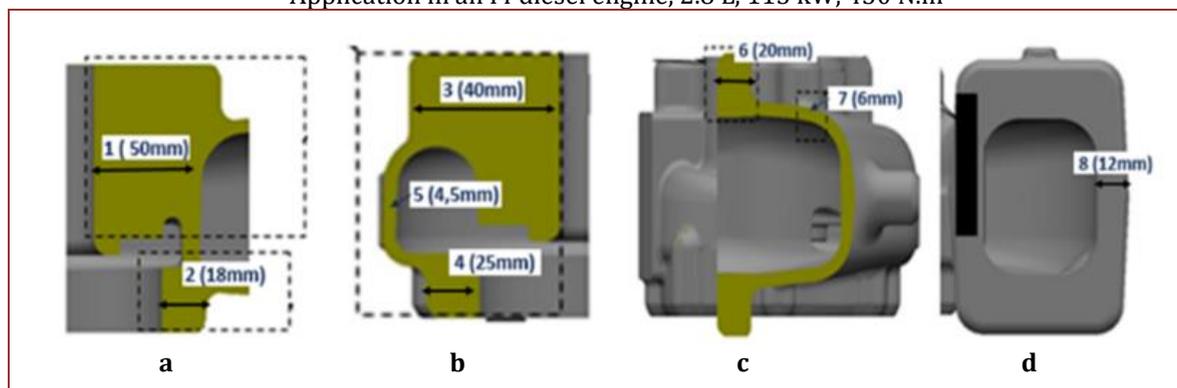
An important aspect in these components is the geometric complexity, with thin walls (3-4 mm) and places of mass concentration, resulting in very distinct properties throughout the piece. Usually, designers consider the physical and mechanical properties as homogenous throughout the casting, using only one value on their component durability simulations. This can lead the designer to avoid reducing wall thickness due to safety issues, when in fact, this could be done without concern, as long as the properties on different section thickness are known.

So, for the design of the part, it is necessary to know the relations between casting dimensions and microstructure, and mechanical properties, and that such relationships are used in the design, in order to optimize each part location. In the present work, the variations of microstructure and mechanical properties were studied in different sections, both in specimens and pieces. The work presented here is part of the Master Thesis at UDESC of one of the authors [2].

2. EXPERIMENTAL PROCEDURES

It was selected a turbocharger housing, used in an I4 2.8 L diesel engine, with section thickness ranging from 4.5 to 50 mm (figure 1). The solidification simulation, done with Magma, shows that the solidification time (from Liquidus to Solidus temperatures) varies from 38 to 443 seconds, and the solidification rate at the eutectic from 3.65 to 1.02 °C/s. It was also selected a sample with various diameters (figure 2-a), from 5 to 50 mm, with solidification time and solidification speed at eutectic ranging from 17 to 645 seconds and 21.7 to 0.8 °C/s, respectively. Another test sample was the ladder sample (figure 2-b), with sections from 8.5 to 60.5 mm, and with solidification time and solidification speed at eutectic ranging from 78 to 396 seconds and 2.9 to 1.06 °C/s, respectively. For the sample with different diameters, the representative section, used for correlations, was half the diameter, in order to have the same solidification modulus as plates or sections of the casting.

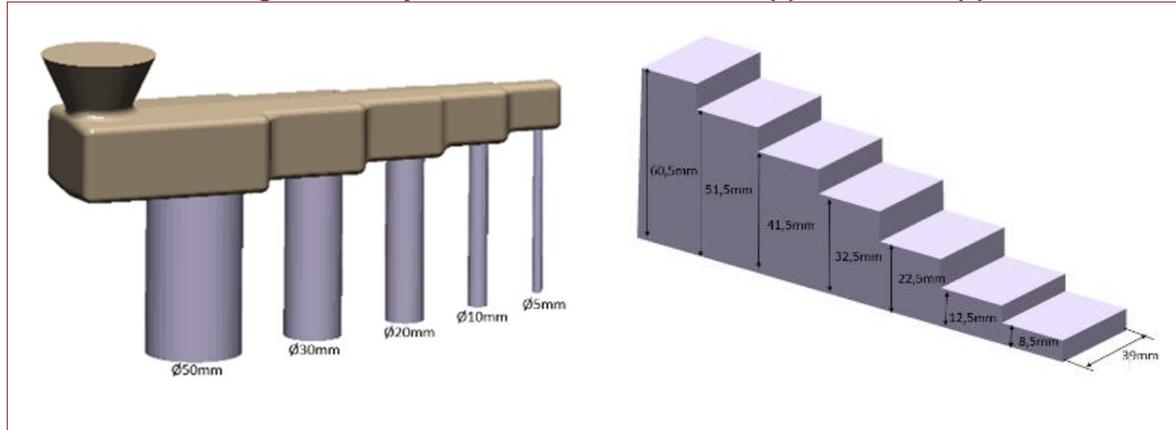
Figure 1. Sections of the turbo housing selected for the experimental work.
Application in an I4 diesel engine, 2.8 L, 115 kW, 430 N.m



The melt was produced in an industrial induction furnace, with additions of Mg and inoculant wires in a 900 kg ladle, controlling the Mg addition by an oxygen sensor. Important elements are C (3.3%), Si (4.3%) and Mo (0.7%), with the other elements in residual contents. The melt was poured in chemical bonded sand moulds, with the shakeout of the parts after 24 h.

Metallographic and mechanical tests were conducted in all samples. For the turbo housing, the mechanical tests were obtained from a 12 mm section, indicated in figure 1-d. The evaluation of graphite nodularity in the microstructure was done according to a procedure described at [3].

Figure 2. Test pieces with different diameters (a) and sections (b).



3. RESULTS AND DISCUSSION

The microstructure of all samples and parts show graphite particles in worm-shape and some nodules, with a matrix of 80-90% ferrite and intercellular carbides, associated with pseudo-pearlite (figure 3). The main difference between the samples is the amount of nodules, with a trend of increasing nodularity with decreasing section size.

The section thickness of all specimens was related to some thermal analysis parameters, like solidification time and solidification rate at eutectic, and the results are shown on figures 4 and 5. It can be seen that solidification time and solidification rate at eutectic are related to the section thickness of the part. The relation, expressed by the correlation coefficient (R^2), is a little better with the solidification time, which express all the solidification phenomena; the solidification rate is more connected to the eutectic reaction.

From the microstructure features, nodularity is the most important one. In the present test samples, nodularity was changed from 12 to 56%. In figure 6, nodularity was related to section thickness and to solidification time. No valid correlation was found with nodularity and solidification rate at eutectic ($R^2 = 0.24$). Nodularity is high with low section thickness and short solidification time.

Figure 3. Microstructure of a SiMo CGI turbine housing. Graphite structure in a 90% ferrite matrix (a) and intercellular carbides rich in Mo, associated with some “pearlite” (b)

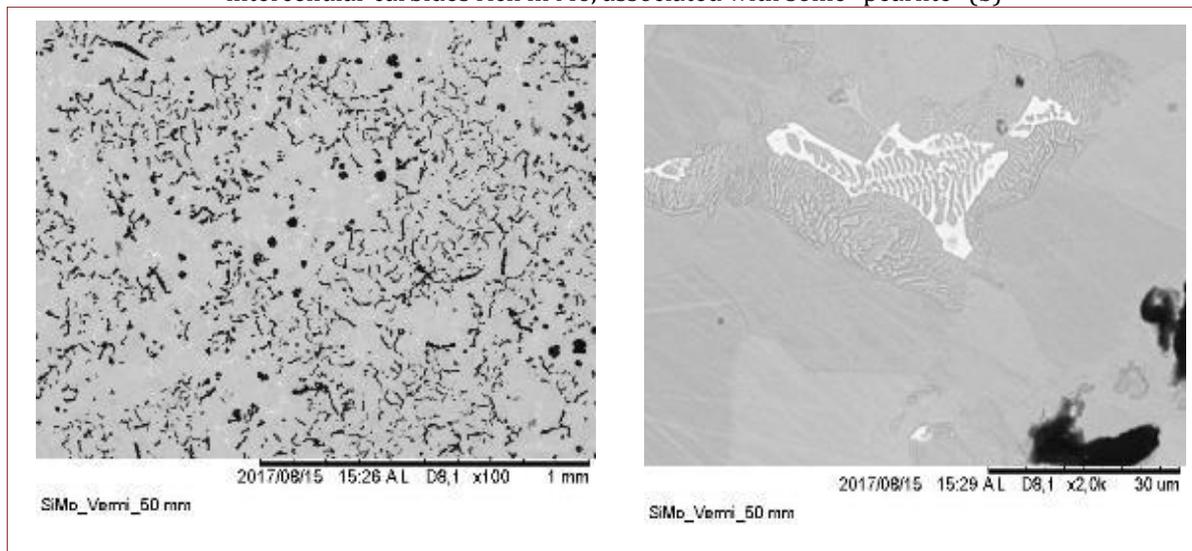


Figure 4. Effect of section thickness on the solidification time, with results of a turbo housing and two types of test samples

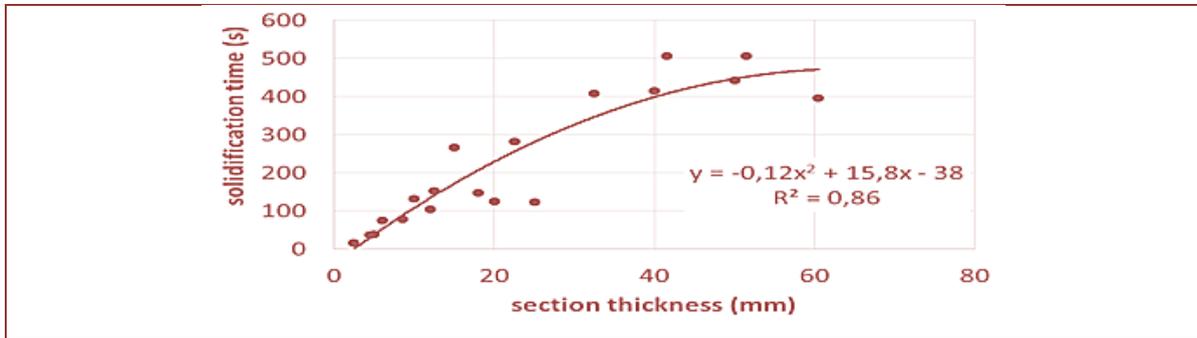


Figure 5. Effect of section thickness on the solidification rate at eutectic, with results of a turbo housing and two types of test samples

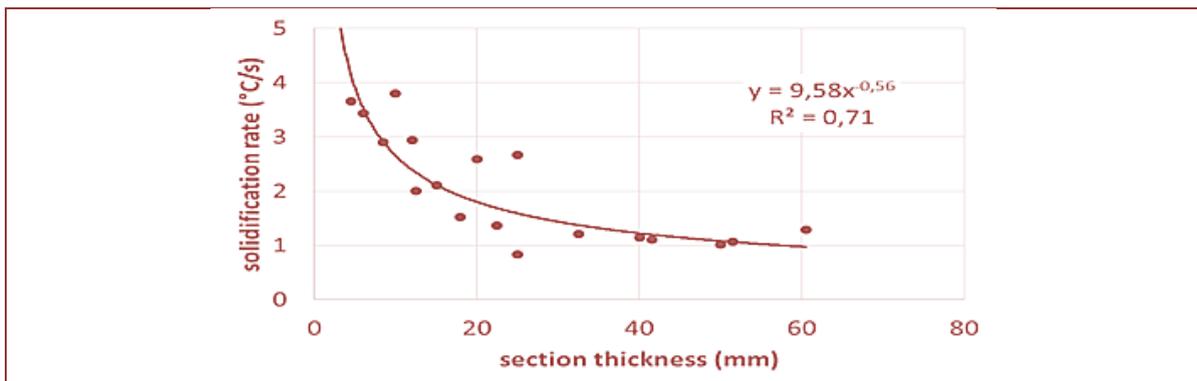
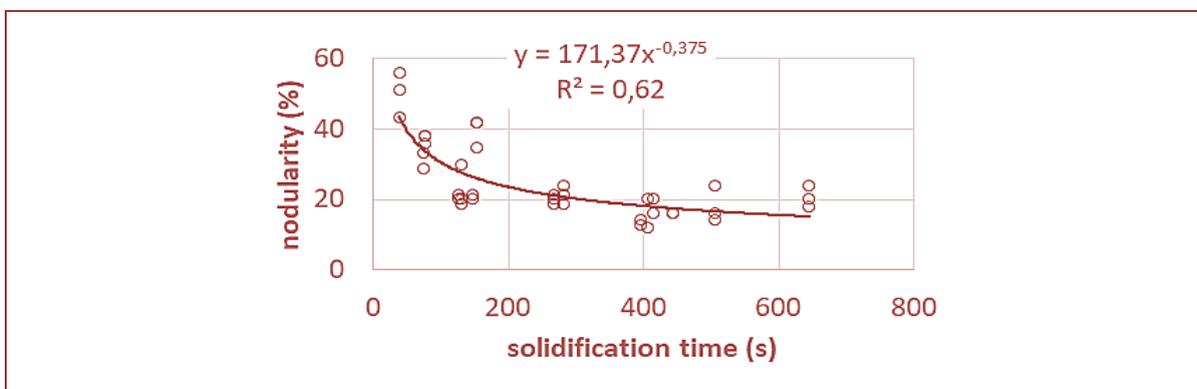
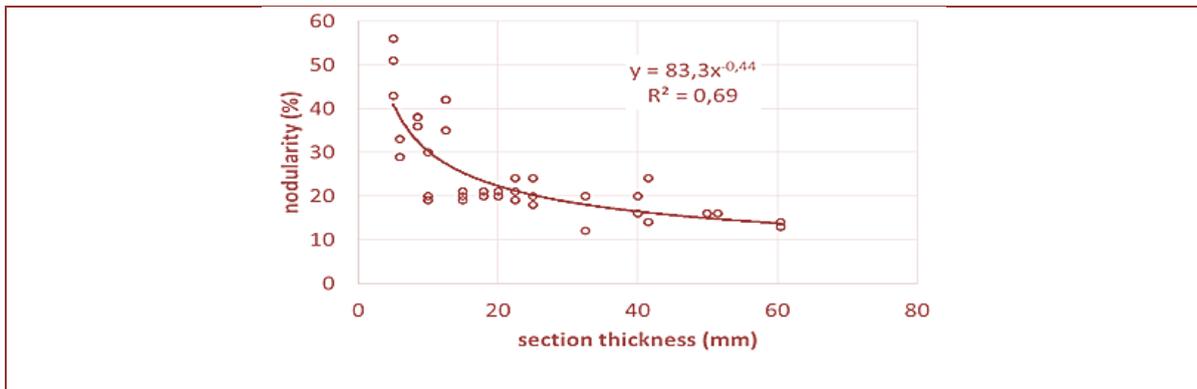


Figure 6. The amount of nodules in compacted graphite microstructure increases with decreasing section thickness (a), associated with lower solidification time (b)



The results of mechanical properties are shown in figures 7 to 9, in relation with solidification time, solidification rate at eutectic, nodularity and section thickness. The relations obtained for UTS and YS show correlation coefficients (R^2) between 0.68 to 0.85, with the best correlation of UTS and YS with the eutectic solidification rate (0.74 and 0.81) and with section thickness (0.76 and 0.82).

Comparing the results of figure 9 to those of Scheib et al [4], with a pearlitic CGI, without Mo and with regular Si (2%), the main differences are related to the Yield Strength, higher in the numbers obtained in the present work of SiMo CGI, probably due to the higher silicon and Mo contents. Comparing the results to those of Ghasemi et al [5], with 4,1% Si and no Mo, the main differences lies on lower section thickness, with higher strength with the results from the present paper, probably due to the presence of Mo.

The direct estimation of mechanical properties from the section thickness, using figure 9, seems to be the best option, without the need to run a solidification simulation software, and with a good agreement with experimental data. This figure 9 (and equations) is the final result of this study and it is recommended to be used in the design of exhaust manifolds and turbo housings, taken the section thickness of different places of the part to estimate the local mechanical properties (UTS and YS). It is recommended to avoid taking places of end of filling, like thin ribs, with very high solidification rates.

Figure 7. The strength of SiMo CGI increases with decreasing solidification time (a) and with increasing of the eutectic solidification rate (b), because of variation in section thickness

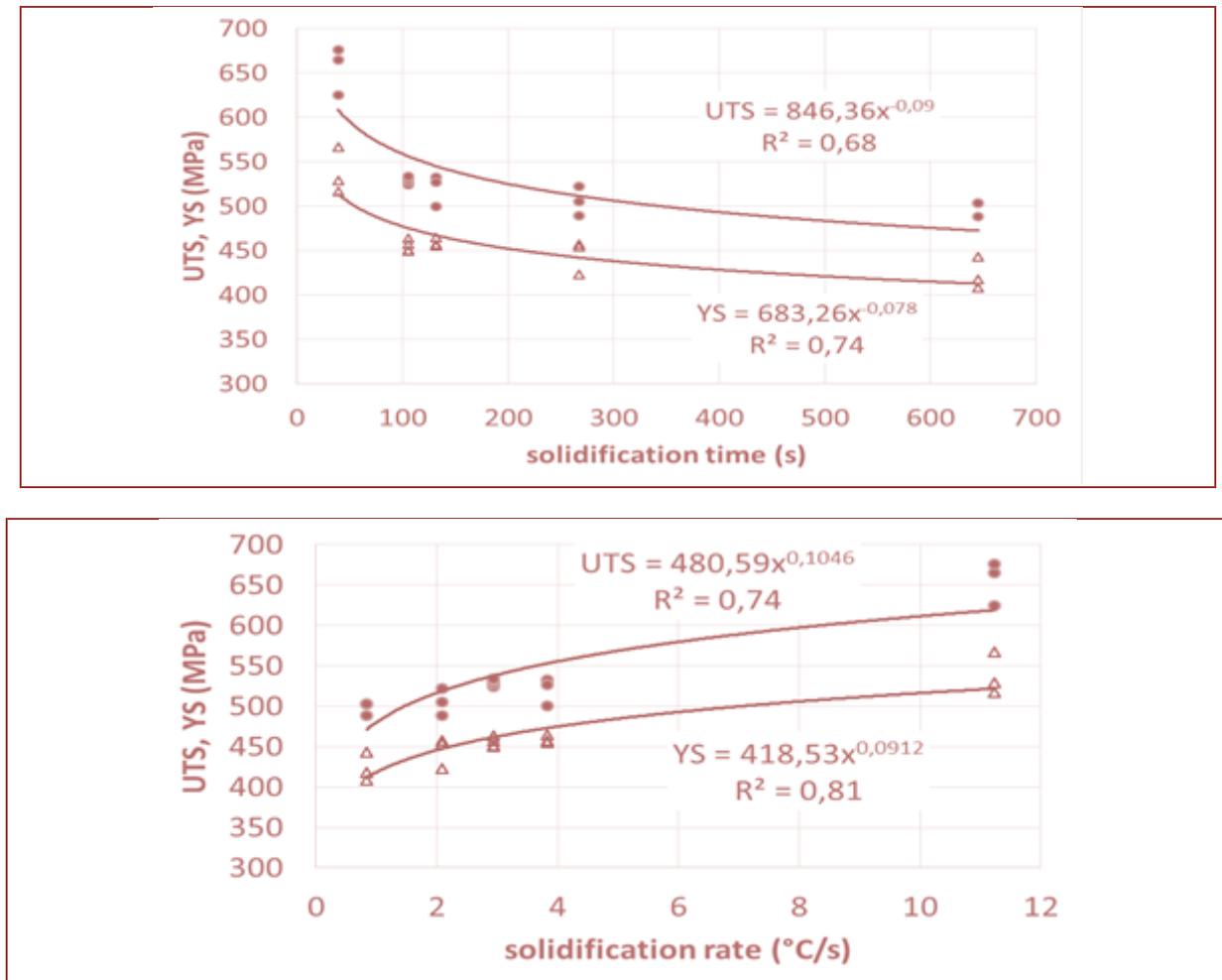


Figure 8. Correlation between nodularity of CGI and the strength (UTS, YS), because of variation of section thickness

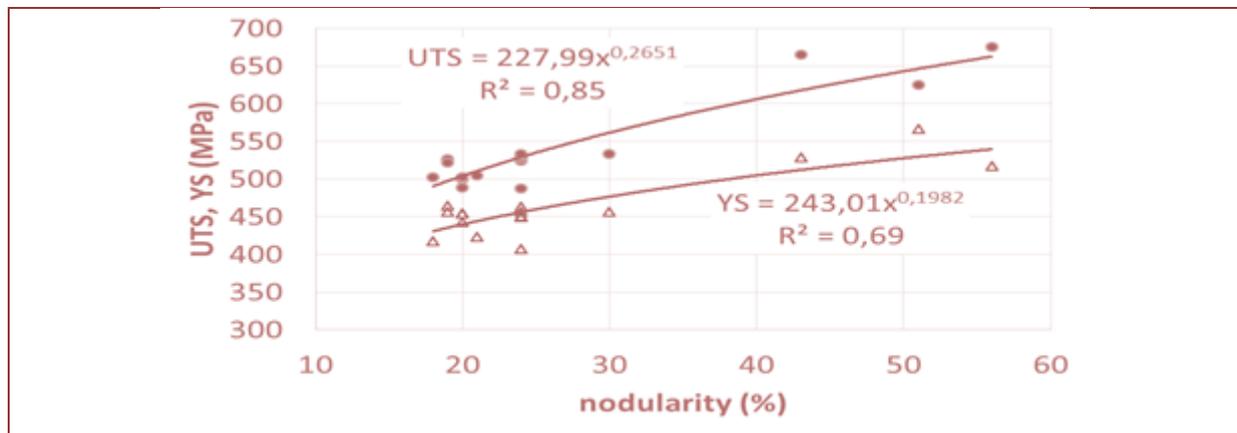
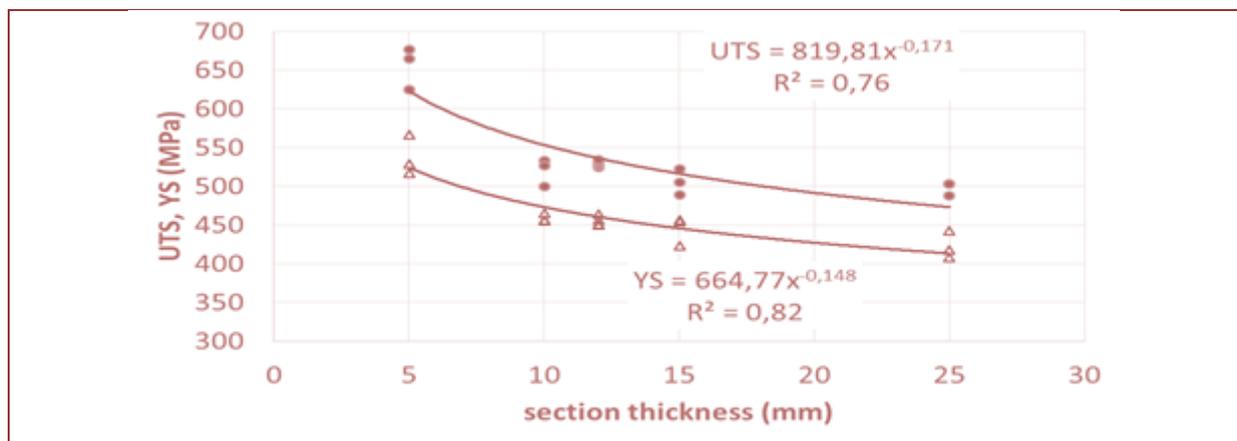


Figure 9. Influence of section thickness on mechanical properties of SiMo CGI



4 CONCLUSIONS

It was found that in SiMo CGI the section thickness affects the microstructure and the mechanical properties. Nodularity and the strength (UTS, YS) of the material increases with decreasing section thickness. With the equations obtained in the present work, it is possible to predict the mechanical properties in all places of a new part, looking for the critical ones, in order to reduce weight and increase safety of the part.

ACKNOWLEDGMENTS

This paper is part of the master thesis of A. Gamba at UDESC, Joinville, Brazil, conducted in the partnership with Tupy and UDESC.

REFERENCES

- [1] MELLERAS, E; BERNARDINI, P; GUESSER, W. L. Coletores de escape em nodular SiMo. Congresso SAE Brasil, São Paulo, 2003.
- [2] GAMBA, A. C. Influência das espessuras das seções nas microestruturas e nas propriedades mecânicas dos ferros fundidos vermiculares SiMo. UDESC, Master Thesis, Joinville, 2017.
- [3] DAWSON, S; GUESSER, W.L. Microstructure and characterization of compacted graphite iron. ASM Handbook, vol 1A - Cast Iron Science and Technology, p. 676-685, 2017.
- [4] SCHEIB, H; WEISSKOPF, K L; BÄHER, R. Eigenschaften dünnwandiger Gussteile aus GJV – Untersuchungen am Stufenkeil. Giesserei, vol 94, n° 6, p. 180-189, 2007.
- [5] GHASEMI, R; OLOFSSON, J; JARFORS, A; SVENSSON, I. Modelling and simulation of local mechanical properties of high silicon solution-strengthened ferritic compacted graphite iron. International Journal of Cast Metals Research, vol 30, n°3, p. 125-132, 2017.

Capítulo 8

Aplicação do Ruído Magnético de Barkhausen em aços inoxidáveis duplex

Elton Mesquita de Almeida

Resumo: As técnicas não destrutivas para avaliação dos materiais vêm sendo vastamente estudadas nos últimos anos. O Ruído Magnético de Barkhausen tem sido amplamente aplicada na indústria na inspeção de engrenagens, controle de qualidade de superfícies tratadas termicamente, tensões residuais, processos de usinagem, análise de textura e anisotropia. O presente trabalho tem por objetivo apresentar uma revisão sobre esta técnica não destrutiva apresentando principalmente aplicações em aço inoxidável duplex que tem sido amplamente aplicado na indústria petroquímica.

Palavras-Chave: Ruído Magnético de Barkhausen, RMS, Aço Inoxidável Duplex, Tratamento térmico, Ferrita.

1. INTRODUÇÃO

Os aços inoxidáveis duplex são de grande importância na indústria devido sua boa resistência mecânica e boa resistência a corrosão sendo aplicado em diversas industrias como a indústria química, petroquímica, alimentícia.

Quando exposto a ciclos térmicos esse material pode sofrer degradação da sua resistência mecânica e resistência a corrosão. Alguns métodos tem se mostrado promissores para a avaliação das propriedades dos aços inoxidáveis duplex após a exposição a ciclos térmicos, dentre os métodos está o Ruído Magnético de Barkhausen (RMB) que é uma técnica não destrutiva em que utiliza o princípio do magnetismo para avaliar o material. O RMB tem sido amplamente aplicado na avaliação de materiais na verificação de dureza, alterações microestruturais, controle de qualidade de processo de usinagem, vida residual de fadiga, análise de propriedades extrínsecas como deformação plástica e tensões residuais.

O presente trabalho faz uma revisão bibliográfica do Ruído Magnético e Barkhausen mostrando sua importância e aplicação na investigação da degradação do Aço Inoxidável Duplex

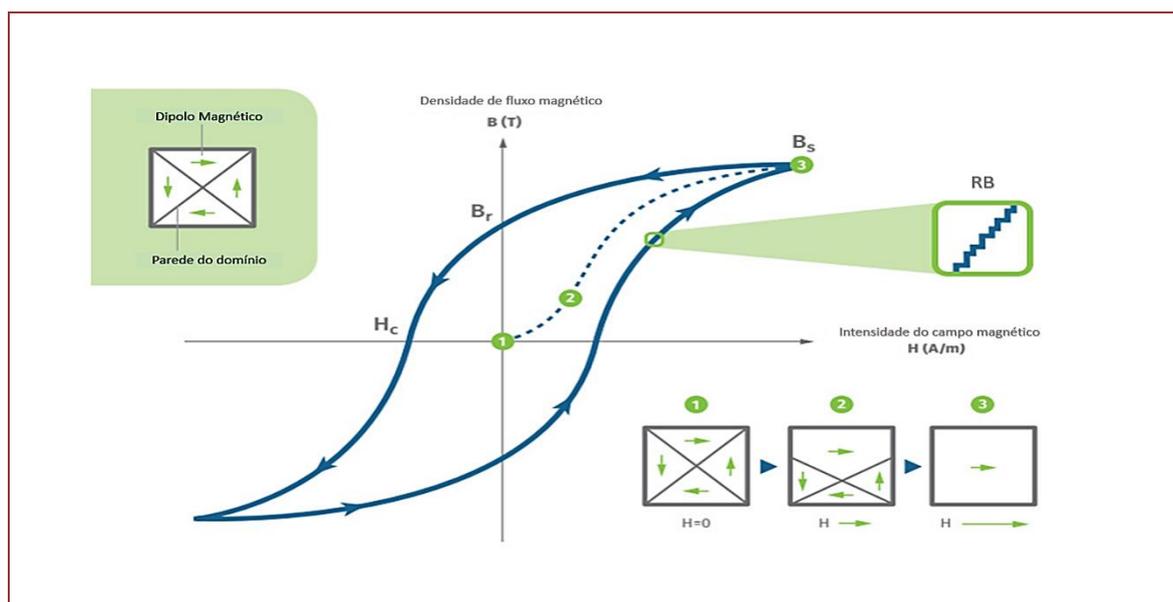
2. RUIÍDO MAGNÉTICO DE BARKHAUSEN

O sinal de Barkhausen foi encontrado pelo professor Heinrich Barkhausen em 1919 (B.D. CULLITY, 2008). Suas aplicações na indústria ganharam atenção no início dos anos 80 (S. TIITTO, 1977). O fenômeno de Barkhausen ocorre em materiais ferromagnéticos que são compostos de domínios magnéticos, os quais todos os dipolos magnéticos estão alinhados na direção do eixo de fácil magnetização.

2.1. CURVA DE HISTERESE

Sob o campo magnético aplicado, as paredes do domínio movem-se, pois o domínio que apresenta uma orientação próxima ao campo magnético aplicado aumenta seu tamanho consumindo os outros que tem diferentes orientações. Conforme aumenta o campo magnético constantemente, todos os domínios magnéticos tornam-se paralelo ao campo aplicado. Ao chegar ao ponto de saturação, ponto B_s , o material policristalino deve se comportar como um único estado de domínio (B.D. CULLITY, 2008; JILES, 1988), como pode ser visto na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

Figura 1 – Figura esquemática da Histerese



Fonte: Adaptado (STRESSTECH, [s. d.]).

Quando a magnetização aplicada se torna zero novamente, algum fluxo magnético (B) permanecerá no material. No ponto B_r , conhecido como remanência, nem todos domínios magnéticos são capazes de voltar ao seu alinhamento inicial, logo o material tem algum nível de magnetismo residual. Quando o campo magnético aplicado continua a aumentar na direção oposta, há um ponto H_c , conhecido como coercividade,

no qual muitos dos domínios podem voltar ao seu alinhamento inicial. Logo o material não apresenta nenhum magnetismo residual.

Durante seu movimento, as paredes dos domínios devem gastar sua energia para consumir os domínios com orientações menos favoráveis para afastar dos locais de ancoragem (imperfeições no material). Saltos abruptos, em razão do gasto de energia para superar os locais de ancoragem, conduz à mudança repentina na magnetização do material. A mudança na magnetização induz pulsos elétricos que geram um sinal semelhante a um ruído, chamado de ruído de Barkhausen (SORSA, 2013). A intensidade do sinal do ruído de Barkhausen depende do número de saltos de Barkhausen que está diretamente relacionado à presença de pontos de ancoragem. Próximo ao campo coercivo é estar localizado a maior amplitude do ruído de Barkhausen.

O RMB é sensível à microestrutura do material, pois essa determina a estrutura do domínio e a distribuição de pontos de ancoragem. Locais de ancoragem como precipitados, contorno de grãos, inclusões, discordâncias, pequenos volumes de segunda fase, tensões residuais, alteram o movimento da parede do domínio afetando o RMB (SORSA, 2013).

A partir da curva de histerese e do RMB é possível obter alguns parâmetros, por exemplo, RMS, *Peak*, *Peak Position*, Remanência, Coercividade, entre outros.

- RMS: Raiz quadrada média de todas as amplitudes de sinal da amostra é dada em Volts. O RMS é calculado da seguinte forma: $\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=0}^n x_i^2}$.
- *Peak*: É o valor máximo da curva do envelope suavizado.
- *Peak Position*: É a posição do ponto máximo da curva do envelope suavizado.
- Remanência: É a densidade de fluxo magnético residual em um material ferromagnético quando o campo externo se reduz a zero.
- Coercividade: É a intensidade do campo magnético necessário para remover a magnetização de um material ferromagnético inicialmente saturado.

3. APLICAÇÕES DO RUÍDO MAGNÉTICO DE BARKHAUSEN ARKHAUSEN

A

resume alguns estudos em que já utilizamos parâmetros supracitados para a avaliação de materiais.

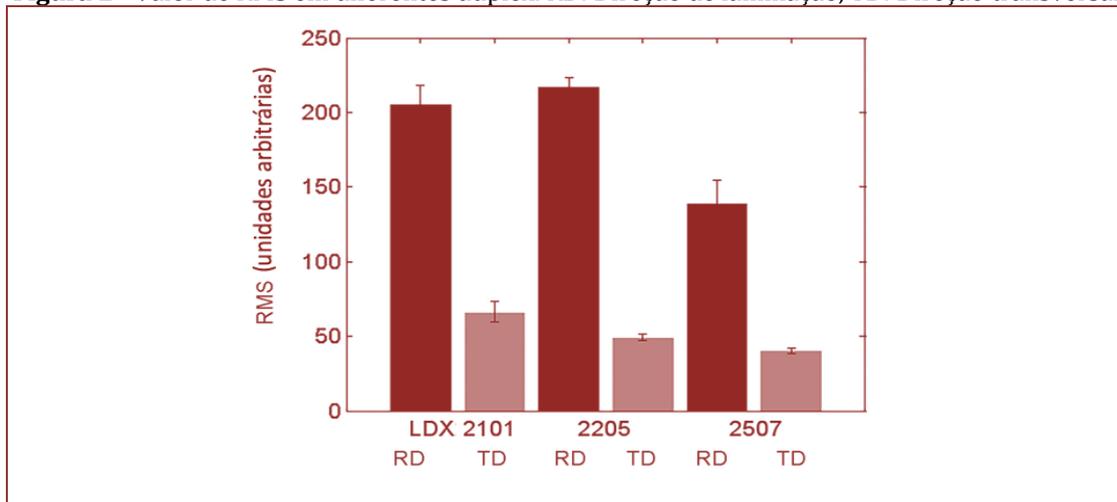
Tabela 1– Resumo dos estudos utilizando os parâmetros obtidos através da histerese e do RMB

Parâmetro	Efeito	Sensível	Referencia
RMS	Diminui com aumento da dureza, aumenta com a tensão de tração.	Microestrutura Tensão	Cullity (CULLITY, 1972)
<i>Peak</i>	Diminui com o aumento da dureza e aumenta com a tensão de tração	Número de paredes de domínio se movendo. A quantidade de caminho livre para deslocamento das paredes de domínio. Tensão	Moorthy et al. (MOORTHY <i>et al.</i> , 1997) Moorthy et al (MOORTHY <i>et al.</i> , 1998)
<i>Peak Position</i>	Com o aumento de dureza aumenta o peak position devido ao campo magnético maior para levar o material a saturação	Microestrutura	Lindgren et al. (LINDGREN; SANTA-AHO; VIPPOLA, 2016)
Coercividade	Aumento da coercividade com o surgimento de fases ricas em cromo.	Microestrutura	J.N. Mohapatra et al. (MOHAPATRA <i>et al.</i> , 2011)
Remanência	Queda brusca do valor da remanência com a precipitação de fases paramagnéticas	Microestrutura	D.D.S. Silva et al. (SILVA <i>et al.</i> , 2020). S.S.M. Tavares et al. (TAVARES <i>et al.</i> , 2010) J.N. Mohapatra et al. (MOHAPATRA <i>et al.</i> , 2013)

Fonte: Adaptado (SANTA-AHO, 2012)

Lindgren et al. (2016) observaram respostas do ruído de Barkhausen em três tipos diferentes de duplex em condições soldadas. Eles investigaram a influência dos elementos de liga, microestrutura e a tensão residual. Foi possível notar que a resposta do ruído de Barkhausen na direção de laminação e na direção transversal foi conduzida pela morfologia das fases do material, sendo que na direção transversal o valor do RMS foi drasticamente menor do que na direção de laminação devido às ilhas paramagnéticas de austenita, como pode ser visto na figura .

Figura 2 - Valor de RMS em diferentes duplex. RD: Direção de laminação, TD: Direção transversal

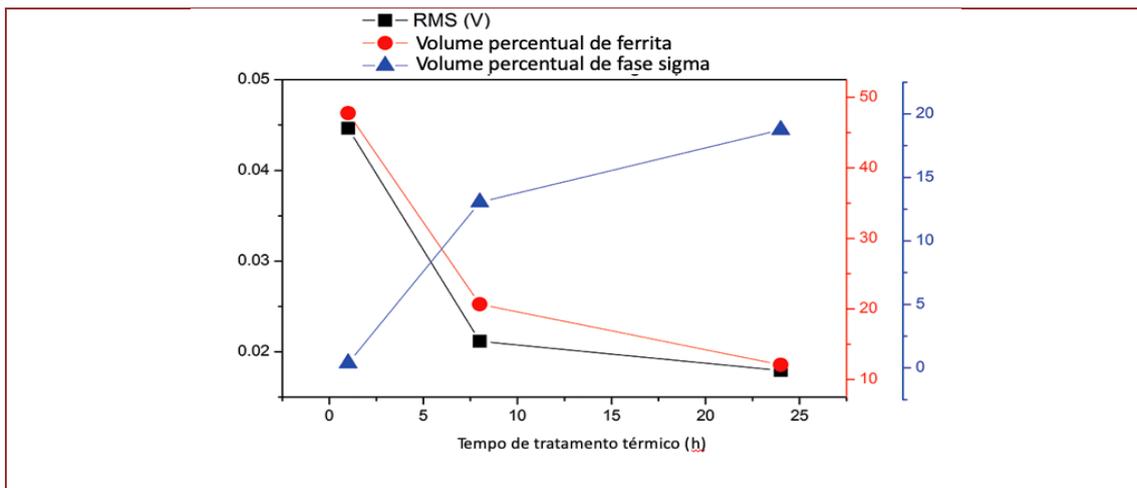


Fonte: Adaptado (LINDGREN; SANTA-AHO; VIPPOLA, 2016).

Normando et al. (2010) utilizaram o ruído de Barkhausen como ferramenta para detecção de fase sigma em aço inoxidável duplex S31803. Eles observaram que o ruído magnético de Barkhausen foi capaz de distinguir diferentes percentuais de sigma em amostras com tratamentos térmicos diferentes, mostrando ser uma técnica não destrutiva promissora.

E.A. Huallpa. et al (2016) em seu estudo avaliaram a quantidade de fase sigma em aço inoxidável duplex, SAF 2205, formada durante o tratamento térmico a 800°C e 900°C em diferentes tempos de envelhecimento utilizando o ruído magnético de Barkhausen. Eles observaram uma redução significativa na intensidade do ruído magnético de Barkhausen com o aumento do tempo de tratamento térmico, indicando uma diminuição na quantidade de ferrita no material tratado (figura). A técnica não destrutiva se mostrou promissora.

Figura 3 - Variação da intensidade do ruído magnético de Barkhausen durante o tratamento isotérmico



Fonte: Adaptado (HUALLPA et al., 2016).

J. Ginsztler et al. (1995) avaliaram dois tipos de aço inoxidável que foram expostos a temperatura de 650°C, durante 45 minutos. Eles compararam as correlações entre ruído magnético de Barkhausen, medidas de saturação de indução e valores obtidos por ataque potencioestático e notaram que o RMS do ruído magnético de Barkhausen é um método preciso e confiável para medida da quantidade de fase ferrita.

4. CONCLUSÃO

O método não destrutivo Ruído Magnético de Barkhausen mostrou-se promissor na análise da degradação do aço inoxidável duplex quando exposto a ciclos térmicos. É possível notar que parâmetro de RMS apresentou uma boa relação com a orientação da textura, percentual volumétrico de fase ferrita e fase sigma. Além disso, o ruído magnético de Barkhausen apresentou correlações com medidas da saturação de indução.

REFERÊNCIAS

- [1] B.D. CULLITY, C.D. Graham. Introduction to Magnetic Materials. [S. l.]: Wiley-IEEE Press, 2008.
- [2] CULLITY, B.D. Introduction to magnetic materials. [S. l.]: Addison-Wesley Publishing Company, 1972.
- [3] GINSZTLER, J. et al. Magnetic investigations of stainless steels. International Journal of Pressure Vessels and Piping, [s. l.], vol. 61, no. 2-3, p. 471-478, 1995. Available at: [https://doi.org/10.1016/0308-0161\(94\)00122-Y](https://doi.org/10.1016/0308-0161(94)00122-Y)
- [4] HUALLPA, Edgar Apaza et al. Use of magnetic barkhausen noise (MBN) to follow up the formation of sigma phase in Saf2205 (UNS S31803) duplex stainless steel. Materials Research, [s. l.], vol. 19, no. 5, p. 1008-1016, 2016. Available at: <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2015-0722>
- [5] JILES, D. C. Review of magnetic methods for nondestructive evaluation. NDT International, [s. l.], vol. 21, no. 5, p. 311-319, 1988. Available at: [https://doi.org/10.1016/0308-9126\(88\)90189-7](https://doi.org/10.1016/0308-9126(88)90189-7)
- [6] LINDGREN, M.; SANTA-AHO, S.; VIPPOLA, M. Barkhausen noise response of three different welded duplex stainless steels. Insight: Non-Destructive Testing and Condition Monitoring, [s. l.], vol. 58, no. 9, p. 480-486, 2016. Available at: <https://doi.org/10.1784/insi.2016.58.9.480>
- [7] MOHAPATRA, J. N. et al. Evaluation of embrittlement in isochronal aged Fe-Cr alloys by magnetic hysteresis loop technique. Journal of Magnetism, [s. l.], vol. 16, no. 2, p. 173-176, 2011. Available at: <https://doi.org/10.4283/JMAG.2011.16.2.173>
- [8] MOHAPATRA, J. N. et al. Magnetic hysteresis loop technique as a tool for the evaluation of σ phase embrittlement in Fe-Cr alloys. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, [s. l.], vol. 327, p. 71-75, 2013. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2012.09.030>
- [9] MOORTHY, V. et al. Evaluation of microstructures in 2.25Cr-1Mo and 9Cr-1Mo steel weldments using magnetic Barkhausen noise. Materials Science and Engineering A, [s. l.], vol. A231, no. 1-2, p. 98-104, 1997. Available at: [https://doi.org/10.1016/s0921-5093\(97\)00040-3](https://doi.org/10.1016/s0921-5093(97)00040-3)
- [10] MOORTHY, V. et al. On the influence of tempered microstructures on magnetic barkhausen emission in ferritic steels. Philosophical Magazine A: Physics of Condensed Matter, Structure, Defects and Mechanical Properties, [s. l.], vol. 77, no. 6, p. 1499-1514, 1998. Available at: <https://doi.org/10.1080/01418619808214266>
- [11] NORMANDO, Paulo G. et al. Ultrasound, eddy current and magnetic Barkhausen noise as tools for sigma phase detection on a UNS S31803 duplex stainless steel. Materials Science and Engineering A, [s. l.], vol. 527, no. 12, p. 2886-2891, 2010. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2010.01.017>
- [12] S. TIITTO. On the influence of microstructure and Barkhausen transitions in steel. Acta Polytechnica Scandinavica, [s. l.], p. 119, 1977.
- [13] SANTA-AHO, Suvi. Barkhausen Noise Method for Hardened Steel Surface Characterization-The Effect of Heat Treatments, Thermal Damages and Stresses. [S. l.: s. n.], 2012. E-book.
- [14] SILVA, David D.S. et al. Low-field magnetic analysis for sigma phase embrittlement monitoring in thermally aged 22Cr duplex stainless steel. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, [s. l.], vol. 513, no. March, p. 167072, 2020. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2020.167072>
- [15] SORSA, A. Prediction of material properties based on non-destructive Barkhausen noise measurement. [S. l.: s. n.], 2013. E-book.
- [16] STRESSTECH. Stresstech Bulletin 1: Barkhausen Noise Analysis. [S. l.], [s. d.]. Available at: <https://www.stresstech.com/stresstech-bulletin-1-barkhausen-noise-analysis/>.
- [17] TAVARES, S. S.M. et al. Magnetic detection of sigma phase in duplex stainless steel UNS S31803. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, [s. l.], vol. 322, no. 17, p. L29-L33, 2010. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2010.02.055>

Capítulo 9

Priorities Assessment for Nuclear Failure Mode Combining Expert's Similarity Aggregation and Simulation of Choquet Integrals in a CPP Framework

Pauli Adriano de Almada Garcia

Luiz Octávio Gavião

Pedro Luiz da Cruz Saldanha

Annibal Parracho Sant'Anna

Gilson Brito Alves Lima

Abstract: Failure mode and effect analysis (FMEA) is the main approach for risk analysis and reliability engineering for under development product analysis. This approach is based on a multidisciplinary understanding about the product under analysis. That is, having an approach to aggregate these different opinions, considering its uncertainties, for prioritizing the failure mode have been the concern of different research papers. In the present work, one presents a probabilistic composition of preferences approach to establishes a priority order among the failure modes. The obtained results, from a simplified application case, shows the efficacy of the proposed method.

Keywords: FMEA, Risk Prioritization, CPP, Experts' Aggregation, AD&GP, ADM, EST&MP

1. INTRODUCTION

Risk analysis is a routine activity conducted by reliability engineers and risk analysts in all industries. As part of probabilistic safety analysis (PSA), risk analysis supports decision-makers with respect to maintenance policies and/or early warning of critical vulnerabilities of the system under analysis [Fullwood, 2000]. In PSA, the failure mode and effect analysis (FMEA) process aim to identify and provide semi-quantitative information with respect to the diverse ways in which the system can fail, and to constitute the input factors for system modeling [IAEA, 1992].

The FMEA approach provides relevant information to decision-makers regarding risk analysis. Three criteria of failure mode analysis are explored in the FMEA process: the likelihood of occurrence (O), the severity of its effects (S), and the ability to detect a potential cause of failure (D). Specifically, for the detection index, the higher the “D” value, the lower the system response potential will be. These criteria are usually measured in psychometric scales (i.e., 1 to 10, or 1 to 5) [Bowles e Bonnell, 1998; Bowles, 1998]. The traditional method for risk prioritization is to calculate the risk priority number (RPN), which equals the product of “S”, “O” and “D”. The higher RPN, the greater the risk of the failure mode will be [SAE, 2009]. The failure mode that is first ranked is usually prioritized for corrective actions to reduce the effects of potential damages. Actions may include safety barriers and emergency plans to mitigate effects, among other measures [Bowles, 1998].

However, the traditional approach to the RPN calculus can cause distortions. One of the problems was first raised by Bowles and Peláez [1995] and refers to the relative importance of the criteria. A second critical point is that equal RPN values can reflect distinctive features of failure modes. Permutations and combinations of S, O and D can return the same RPN. In fact, a “8-1-8” RPN may be associated with a “black swan” event, a rare failure mode that requires special treatment. On the other hand, a “1-8-8” RPN may be routinely monitored and controlled.

A third critical point associated with RPN is that any product greater than ten having a prime number as a criterion factor cannot be formed by the product of three parameters. For example, 22, 33 and 99, all multiples of the prime number 11, are RPN values that cannot be generated by the product of severity, occurrence, and detection indices, considering a (1, 10) criterion scale. For the same reason, the multiples of 13, 17, 19 etc. will be excluded from the RPN spectrum of values [Bowles, 2003].

Another problem often mentioned in the literature is that uncertainty sometimes influences experts’ opinions. Exact values may not reflect the experts’ choice about the criterion. According to Morgan [2014], probability distributions better represent the subjectivity of technical judgment from experts. In fact, decision analysts have long used quantitative expert judgments in the form of probability distributions elicited from relevant experts.

Combined with the above-mentioned problems, one must remember that FMEA is an approach based on multidisciplinary team, i.e., it is a tool for group decision making. Considering that, it is important to search for solutions that tackle the prioritization problem and considers a group decision. Based on these assumptions, in the present paper a hybrid Composition of Probabilistic Preferences based approach is proposed. One combines experts’ similarity aggregation with a randomization process of the criteria. The final composition is addressed by the simulation of discrete Choquet integrals.

2. THE CPP METHOD

A decision aid consists of trying to provide answers to questions raised by actors involved in a decision process, using a clearly specified model [Bouyssou, 1990]. To do so, the analyst often must compare alternatives. In an approach using several criteria, the analyst aims to establish comparisons by the evaluation of alternatives according to more than two criteria. In addition to the existing techniques to support decisions involving multiple criteria, as mentioned in Section 1, the imprecision involved in the present application suggests the use of the CPP method [Sant’Anna and Sant’Anna, 2001]. The probabilistic approach of CPP assumes uncertainties in preference evaluations, which makes the model more attractive for real-world problem solving [Sant’Anna, 2015].

CPP is a multicriteria decision aid (MCDA) method. MCDA methods are intended to search for satisfactory solutions to a problem with multiple alternatives evaluated under different criteria. These criteria may be associated with goals to be maximized or minimized. This in practice hinders the search for an optimal solution that simultaneously achieves these objectives. Thus, the application of MCDA methods results in viable solutions that meet the set of established criteria [Pomerol and Barba-Romero, 2012].

Probabilistic composition, according to Sant'Anna [2015], allows objectively combining, in different ways, classifications according to different criteria. If preference is to be considered between criteria, one can treat the probability of choice according to each criterion as a problem of conditional probability. Preferences between criteria are, however, difficult to quantify. In addition, a probabilistic evaluation also provides a variety of ways of combining the criteria without establishing priorities among them. For example, it allows adopting an optimistic view that an option is satisfactory if at least one of the available criteria is also satisfactory, or a pessimistic approach, which requires approval by all the criteria to be good for the option to be approved globally.

2.1. PROBABILITY OF BEING THE BEST OR WORST OPTION

From an operational perspective, the starting point of CPP is to rank options according to each criterion. For a measure of preferences based on the level or degree of presence of some attribute, the relative position of the option can be obtained by numerical values regarding cost, distance, etc. In other circumstances, the attributes cannot be measured quantitatively. In these cases, the primary data are composed of linguistic classifications such as low, moderate, high, etc., inducing a representation like fuzzy classifications [Zadeh, 1965]. Regardless of the case, it is possible to establish an order of priority by means of determining the preferences, depending on the type of criterion: the higher the better, the lower the better or the closer to some chosen value the better. For the case of linguistic classifications, a psychometric scale (i.e., Likert scale) can be considered.

After determining the ranking of options based on each criterion, the next step is to calculate the probability that an option is the best according to each criterion individually. According to Sant'Anna [2015], this probabilistic transformation is the key point of CPP. Results from translating each measurement of the basic attribute into an interval of satisfaction evaluations that may occur if the alternative is evaluated in successive assessments of the preference based on that attribute. For this purpose, one must consider that the relative position obtained in the preceding step is, for each option, a location parameter of the probability distribution of preference according to the criterion under analysis. Simple normal distributions are considered preferentially, such as being uniform, triangular, or normal. However, any other probability model may be employed in a different context.

The probability of an option being the best according to each criterion is computed by the integral of the joint density function of the option under analysis, considering an interval for which this option is the best among all options. To compute this probability, the data range of each criterion should be considered as limits of the integral for computation, considering the interest in enabling the switching of ranks among all options. Equation 1 presents this computation.

$$M_{ik} = \int_{L_{ik}}^{U_{ik}} \left[\prod_{j=1}^n \int_{L_{jk}}^{X_{jk}} f_{X_{jk}}(x') dx' \right] f_{X_{ik}}(x) dx \quad (1)$$

In Equation 1, L_{ik} and U_{ik} are, respectively, the lower and upper bounds of the domains of a random variable X_{ik} that represents the preference form option k according to criterion i , while n is the number of options being analyzed and f is the probability density function. The product sequence inside the brackets is the product of the probabilities that the variables are lower than X_{ik} , $P(X_{jk} < X_{ik})$, for all the other options involved in the analysis. This product has implicit the hypothesis of independence of the disturbances of the evaluations of different options. Note that X_{ik} is compared to the distributions of the other positions, X_{jk} . After making this comparison for each possible value of X_i , since it is a random variable, the next step is to calculate the expected value of this product sequence according to the distribution of X_i . This calculation must be performed for each option in each criterion. Therefore, M_{ik} is the probability that option k is the best one according to criterion i .

If the aim is to calculate the probability that the option is the worst, given the level criterion i for option k , Equation 2 is used.

$$m_{ik} = \int_{L_{ik}}^{U_{ik}} \left[\prod_{j=1}^n \int_{X_{ik}}^{U_{jk}} f_{X_{jk}}(x') dx' \right] f_{X_{ik}}(x) dx \quad (2)$$

Note that in this case the value of variable X_{ik} is the lower limit of the integrals in the product sequence in brackets.

Both the results from Equations 1 and 2 are considered in the composition of preferences Sant'Anna [2015].

2.2. THE CPP APPLIED TO FMEA

More recently, FMEA was adapted to the probabilistic calculation by Sant'Anna [2012]. The nonlinear feature of CPP is pertinent to FMEA. The probabilistic approach values the increments of higher evaluations. This corrects distortions of final ranks, which are observed with the direct product of the evaluations, to obtain the priority risk number (PRN) [Bowles, 2003]. For example, in the original FMEA model, increasing the evaluation by a given criterion from 1 to 2, keeping the others constant and considering a five-point scale, doubles the PRN of one failure mode in relation to the other. Meanwhile, the increase from 4 to 5, keeping the same conditions, represents a 25% difference between their PRNs. With CPP, however, increments from 4 to 5 are probabilistically higher than lower increments (i.e., 1 to 2, 2 to 3 and 3 to 4).

The use of CPP in FMEA has been widely discussed in the literature, with emphasis on research in the nuclear industry [Garcia et al., 2013, 2015; Sant'Anna et al., 2015], homeland security [Sant'Anna, 2013], power transmission [Sant'Anna and Junior, 2011] and retailing [Sant'Anna et al., 2014].

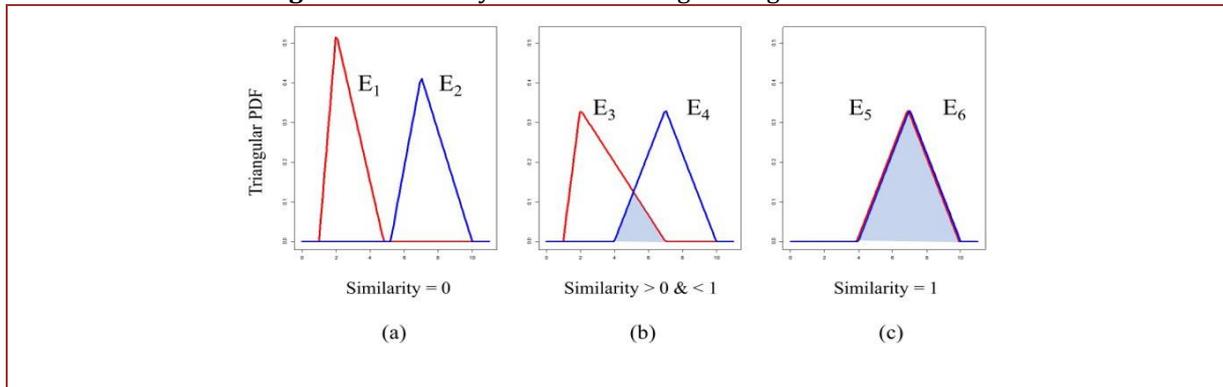
Most CPP applications in FMEA involve the perception of multiple experts for the "SOD" evaluation. However, expert estimates seldom agree. The values and amplitude of variables are usually divergent. This is due to experience, predictability, commitment to research, bias, among other aspects inherent to human judgment, which interfere with the evaluations. In this context, the aggregation of the different estimates is relevant to risk analysis, by simplifying the calculation procedures.

CPP applications in FMEA have used statistical measures of position (i.e., mode, mean, median) for aggregation of expert estimates. While meeting the needs of the method, such measures do not always reflect consensus among experts. Thus, several procedures for aggregation of expert estimates have been proposed, with special emphasis on the classic Cooke model [Cooke et al., 1988] and the Mendel-Sheridan model [Mendel and Sheridan, 1989]. Both employ expert estimates in the form of quantile values of a probability distribution to be defined in the process. The Cooke model combines the estimated quantiles with weights obtained in a previous stage of "calibration" of expert evaluations. In the Mendel-Sheridan method, the probabilities associated with each quantile are adjusted by a Bayesian model, also reflecting the results of the calibration phase. However, the performance of the specialists in this previous phase can depreciate their most important evaluations about the real problem, which causes criticism about the usefulness of the calibration, as described by Bolger and Rowe [2015].

3. METHODOLOGICAL PROCEDURE

As stated in the introduction, one must consider an approach to combine the opinion of many experts, in a probabilistic way, to then prioritize the failure modes, also probabilistically. The aggregation of the different opinion will be done based on an adaptation of the similarity aggregation method (SAM) proposed by Hsu and Chen [1996]. Instead of considering fuzzy number, or membership functions, one will approach it by probability density functions. The idea of similarity can be seen in Figure 1.

Figure 1: Similarity estimates through triangular distribution



For details concerning the calculations of similarity, please access Gavião et al. [2018].

After aggregating the different opinion, one can proceed to the CPP maximum and minimum probability calculation, by equations 1 and 2. Combining these probabilities value, it is necessary to compose a global score for the alternative performances. The highest global score indicates the most satisfactory solution for decision making. In Sant’Anna [2015], three forms of preference composition are presented: weighted sum, axes and Choquet integrals. Regarding the last, the theory of capacities developed by Choquet [1953] was successfully adapted to MCDA problems, with a wide variety of applications [Grabisch and Labreuche, 2010; Grabisch and Roubens, 2000; Merad et al., 2013]. From the MCDA point of view, a “capacity” can be interpreted as a weight assigned to the subsets of problem criteria. A Choquet integral determine the final score for each alternative, which indicates a preference order for the decision-maker [Grabisch et al., 2006].

Despite being the most complex type of composition in the CPP, the Choquet approach is particularly useful for FMEA problems. This composition includes more information for decision- making. The MCDA models use algorithms based on the performance of the alternatives in each criterion alone [Pomerol e Barba-Romero, 2012]. In practice, however, decision making may involve evaluations resulting from interactions of the criteria. So, in FMEA it is possible to consider additional evaluations of criteria sets: “S&O”, “S&D”, “O&D” and “S&O&D”. The term “CPP-Choquet” is used here to refer to the use of CPP in the composition by capacities and Choquet integrals to order alternatives in MCDA problems.

After the initial “randomization” of the database and the computation of Mik and mik, the capacities of criteria subsets and the composition of Choquet integrals for the alternatives are calculated. In this way, it is already possible to order the alternatives, according to the values returned from the Choquet integrals.

The capacities of criteria sets are derived from the probabilities of the sets of alternatives. For a set N of n criteria, the capacities μ for 2^E subsets of criteria must be calculated. The capacities belong to the interval [0,1] and must satisfy the conditions that: (a) $\mu(\{\emptyset\}) = 0$, and (b) $\mu\{N\} = 1$ and, $\mu\{N\} = 1$ and, for any subsets E and $F \subset N$, if $E \subset F$, then $\mu\{E\} \leq \mu\{F\}$. Three steps are necessary in this process. First, for each S, subset of N with s criteria, $S = \{C_1, \dots, C_s\}$, the joint probabilities of maximizing the preferences are computed in at least one subset criterion, using Equation 3, where, for each i, P_{ai} denotes the evaluation of alternative a by criterion C_i . This calculation produces a score from the CPP progressive-optimistic (PO) point of view, for independent evaluations [Sant’Anna, 2015].

$$P(\{C_1 \dots \dots C_s\}) = 1 - \prod_{i=1}^s [1 - P_{ai}] \tag{3}$$

Then, the maximum values of the probabilities of each subset, among the results of applying Equation 3, for the alternatives according to Equations 4 are selected.

$$P = \max(\{C_1 \dots C_S\}) = \max_a \left\{ 1 - \prod_{i=1}^S [1 - P_{ai}] \right\} \quad (4)$$

These maximum values are, finally, standardized, making them proportions of the highest value, indicated by U , according to Equation 5. The results are associated with μ S capabilities of the subsets of the criteria used in subsequent calculations.

$$\mu(\{C_1 \dots C_S\}) = \frac{P(\{C_1 \dots C_S\})}{P(U)} \quad (5)$$

The probabilistic evaluation of the alternatives are composed by Choquet integrals. The highest result between the final scores defines the preference for decision making. The final score, CH , can be obtained from Equation 6.

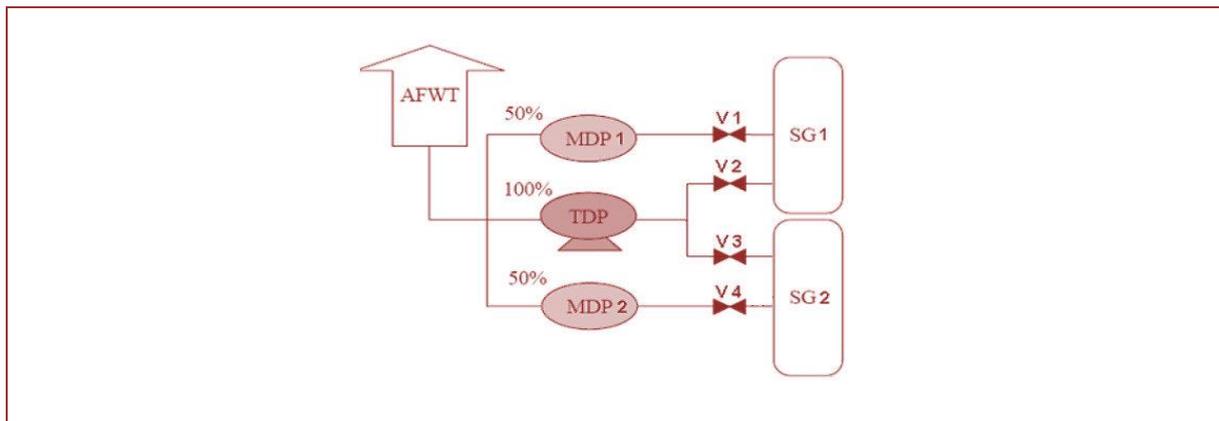
$$CH_\mu(A) = \sum_{j=1}^n p_{\tau(j)}(A) \mu(\{\tau(j), \dots, \tau(n)\}) \quad (6)$$

Equation 6 refers to the Choquet integral for the alternative “ A ”, by the j -th criterion, with respect to the capacity μ in S , considering also that τ is a permutation of S satisfying $p_{\tau(j)}(A) > p_{\tau(j-1)}(A)$ and attributing $p_{\tau(0)}(A) = 0$. More details about the application of Choquet integrals for probabilistic composition can be found in Sant’Anna [2015].

4. APPLICATION TO A SIMPLIFIED

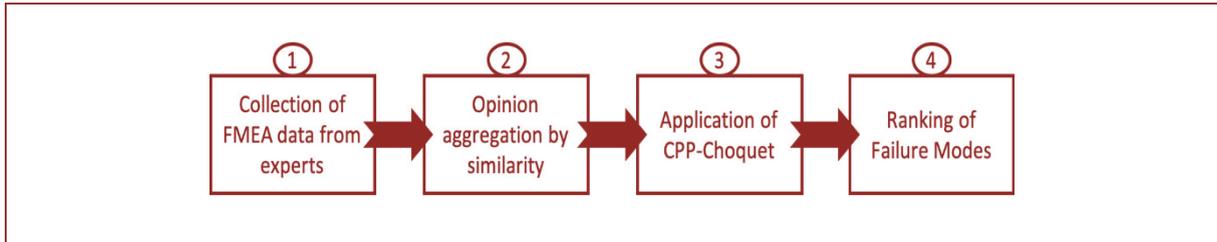
The method proposed here was applied to an auxiliary feedwater system (AFWS), according to Figure 2. The AFWS of a typical PWR plant contains two subsystems: the first has a turbine-driven pump (TDP), which has capacity to deliver 100% of the water needs of the steam generators SG; the second one has two motor-driven pumps (MDP), each of which can satisfy 50% of the steam generators’ water needs. The AFWS functions are: a) to supply the SGs when the main feedwater system is lost; b) to keep the water level in the SGs able to remove the residual heat generated when the reactor power is less than 10% of nominal power. Some simplifying assumptions were considered: a) the feedwater comes from the auxiliary feedwater tank only; b) valve groups are represented by a single valve “V”; and c) components from redundant groups are considered as a single component.

Figure 2: Simplified AFWS diagram



Based on the methodological discussion, the process of ranking the group of failure modes is organized in four steps, as described in Figure 3.

Figure 3: Methodological process



The FMEA data were obtained from Lapa e Guimarães [2004]. Five experts from the Brazilian Nuclear Commission analyzed the simplified AFWS based on eight groups of failure modes, as indicated in tables 1 to 8. In these tables, the “Importance” column denotes the experts’ relevance, based on their length of experience (in years). This information is necessary to compute the expert weights, as described in Gavião et al. [2018]. Columns “O”, “S” and “D” present the expert estimates of FMEA criteria on a ten-point scale. Their estimates indicate the parameters “Min”, “Mode” and “Max”, to model probability distributions of each failure mode.

Table 1: Failure to open a group of valves

Experts	Importance	min(O, S, D)	mode(O, S, D)	max(O, S, D)
1	0.3	(2, 0, 7)	(3.5, 1.5, 8.5)	(5, 3, 10)
2	0.2	(1.5, 0, 6)	(3.2, 1.7, 6)	(4.8, 2.8, 10)
3	0.2	(1.8, 0, 6.8)	(3.7, 1.6, 8.8)	(5.3, 3.2, 10)
4	0.2	(1.9, 0, 7.2)	(3.6, 1.4, 8.7)	(5.3, 3.2, 10)
5	0.1	(1.8, 0, 6.9)	(3.5, 1.5, 8.1)	(5, 2.9, 10)

Table 2: Failure to close a group of valves

Experts	Importance	min(O, S, D)	mode(O, S, D)	max(O, S, D)
1	0.3	(2, 9, 2)	(3.5, 10, 3.5)	(5, 10, 5)
2	0.2	(1.5, 8.5, 1.5)	(3.2, 10, 3.2)	(4.8, 10, 4.8)
3	0.2	(1.8, 8.7, 1.8)	(3.7, 10, 3.7)	(5.3, 10, 5.3)
4	0.2	(1.9, 3.4, 1.9)	(3.6, 10, 3.6)	(5.3, 10, 5.3)
5	0.1	(1.8, 8.8, 1.8)	(3.5, 10, 3.5)	(5, 10, 5)

Table 3: Failure operating the motor pump

Experts	Importance	min(O, S, D)	mode(O, S, D)	max(O, S, D)
1	0.3	(2, 4, 0)	(3.5, 6, 1.5)	(5, 8, 3)
2	0.2	(1.5, 3.5, 0)	(3.2, 5.5, 1.7)	(4.8, 7.8, 2.8)
3	0.2	(1.8, 3.7, 0)	(3.7, 5.7, 1.6)	(5.3, 8.4, 2.5)
4	0.2	(1.9, 3.8, 0)	(3.6, 5.8, 1.4)	(5.3, 8.2, 3.2)
5	0.1	(1.8, 3.6, 0)	(3.5, 5.8, 1.5)	(5, 8.2, 2.9)

Table 4: Failure in stating the motor pump

Experts	Importance	min(O, S, D)	mode(O, S, D)	max(O, S, D)
1	0.3	(2, 7, 0)	(3.5, 8.5, 1.5)	(5, 10, 3)
2	0.2	(1.5, 6, 0)	(3.2, 8, 1.7)	(4.8, 10, 2.8)
3	0.2	(1.8, 6.8, 0)	(3.7, 8.8, 1.6)	(5.3, 10, 2.5)
4	0.2	(1.9, 7.2, 0)	(3.6, 8.7, 1.4)	(5.3, 10, 3.2)
5	0.1	(1.8, 6.9, 0)	(3.5, 8.1, 1.5)	(5, 10, 2.9)

Table 5: Common-cause failure of the motor pumps

Experts	Importance	min(O, S, D)	mode(O, S, D)	max(O, S, D)
1	0.3	(0, 7, 0)	(1.5, 8.5, 1.5)	(3, 10, 3)
2	0.2	(0, 6, 0)	(1.7, 8, 1.7)	(2.8, 10, 2.8)
3	0.2	(0, 6.8, 0)	(1.6, 8.8, 1.6)	(2.5, 10, 2.5)
4	0.2	(0, 7.2, 0)	(1.4, 8.7, 1.4)	(3.2, 10, 3.2)
5	0.1	(0, 6.9, 0)	(1.5, 8.1, 1.5)	(2.9, 10, 2.9)

Table 6: Failure in operating the turbo pump

Experts	Importance	min(O, S, D)	mode(O, S, D)	max(O, S, D)
1	0.3	(7, 2, 2)	(8.5, 3.5, 3.5)	(10, 5, 5)
2	0.2	(6, 1.5, 1.5)	(8, 3.2, 3.2)	(10, 4.8, 4.8)
3	0.2	(6.8, 1.8, 1.8)	(8.8, 3.7, 3.7)	(10, 5.3, 5.3)
4	0.2	(7.2, 1.9, 1.9)	(8.7, 3.6, 3.6)	(10, 5.3, 5.3)
5	0.1	(6.9, 1.8, 1.8)	(8.1, 3.5, 3.5)	(10, 5, 5)

Table 7: Failure in starting the turbo pump

Experts	Importance	min(O, S, D)	mode(O, S, D)	max(O, S, D)
1	0.3	(4, 4, 2)	(6, 6, 3.5)	(8, 8, 5)
2	0.2	(3.5, 3.5, 1.5)	(5.5, 5.5, 3.2)	(7.8, 7.8, 4.8)
3	0.2	(3.7, 3.7, 1.8)	(5.7, 5.7, 3.7)	(8.4, 8.4, 5.3)
4	0.2	(3.8, 3.8, 1.9)	(5.8, 5.8, 3.6)	(8.2, 8.2, 5.3)
5	0.1	(3.6, 3.6, 1.8)	(5.8, 5.8, 3.5)	(8.2, 8.2, 5)

Table 8: Common-cause failure of the trains

Experts	Importance	min(O, S, D)	mode(O, S, D)	max(O, S, D)
1	0.3	(0, 9, 0)	(1.5, 10, 1.5)	(3, 10, 3)
2	0.2	(0, 8.5, 0)	(1.7, 10, 1.7)	(2.8, 10, 2.8)
3	0.2	(0, 8.7, 0)	(1.6, 10, 1.6)	(2.5, 10, 2.5)
4	0.2	(0, 9.4, 0)	(1.4, 10, 1.4)	(3.2, 10, 3.2)
5	0.1	(0, 8.8, 0)	(1.5, 10, 1.5)	(2.9, 10, 2.9)

The aggregate parameters Min, Mode and Max were used to model triangular distributions. This type of distribution was chosen because it is better to associate its parameters with the experts' perceptions regarding the O, S and D criteria. However, to establish aggregations by similarity, only the mode parameter was considered, keeping the others according to the limits of the evaluation scale. Thus, the parameters $\min = 0$ and $\max = 10$ were considered. This procedure favors the probabilistic modeling of CPP, since it enlarges the intersection of the triangular distributions, avoiding extreme values of M_{ik} and m_{ik} . Based on these parameters, aggregate triangular distributions are obtained, whose modes for each criterion are set out in Table 9. An algorithm to aggregate values by similarity is available in the R-package CPP, by the function `Agg.Sim` [Gavia~o et al., 2018].

Table 9: Common-cause failure of the trains

Failure Mode	mode(O, S, D)
FM 1	(3.512671999, 1.539010614, 8.455280309)
FM 2	(3.512671999, 10.00000000, 3.512671999)
FM 3	(3.512671999, 5.772513179, 1.539010614)
FM 4	(3.512671999, 8.455280309, 1.539010614)
FM 5	(1.539010614, 8.455280309, 1.539010614)
FM 6	(8.455280309, 3.512671999, 3.512671999)
FM 7	(5.772513179, 5.772513179, 3.512671999)
FM 8	(1.539010614, 10.00000000, 1.539010614)

Considering these parameters for the triangular distributions in each criterion, the probability of each failure mode being higher than the others is depicted in Table 10. Algorithms to compute M_{ik} are available in the R-package CPP [Gavião et al., 2018].

Table 10: Maximizing preference (M_{ik})

Failure Mode	PMax(O, S, D)
FM 1	(0.093813389, 0.027041071, 0.364101)
FM 2	(0.093813389, 0.269157994, 0.106412)
FM 3	(0.093813389, 0.056562882, 0.079166)
FM 4	(0.093813389, 0.142898902, 0.079166)
FM 5	(0.070121088, 0.142898902, 0.079166)
FM 6	(0.332371311, 0.035728194, 0.106412)
FM 7	(0.152132576, 0.056562882, 0.106412)
FM 8	(0.070121088, 0.269157994, 0.079166)

Considering the probability presented in Table 10 the Choquet integrals, as in Equation 6, are applied the results are in Table 11.

Table 11: CPP-Choquet results and failure mode ranking

Failure Mode	CPP-Choquet	Rank
FM 1	0.328560143	1
FM 2	0.210511031	3
FM 3	0.090240652	8
FM 4	0.123175029	6
FM 5	0.119534442	7
FM 6	0.285007819	2
FM 7	0.141558019	5
FM 8	0.201240313	4

As an essay to understand the prioritization obtained, one considered the Shapley index [Shapley, 1953]. The concept of Shapley index helped us to approach the importance of the criteria SOD associated to the experts' opinion. Considering the formulation presented in Sant'Anna [2015], the value of Shapley index was 0.346, 0.236 and 0.418 for O, S and D, respectively. This means that higher importance concerned to detectability are associated to the conditions monitoring of nuclear power plants. Lower capacity for failure detection is considered more important than the other criteria. This raised the score of FM1, while the negative interaction perceived between the other two criteria reduced the scores of failure modes with higher evaluations by these criteria, like FM2, FM6 and FM7.

5. FINAL CONSIDERATIONS

The importance of FMEA is well known as a procedure to aid in the identification, prioritization and mitigation of failures or risks in processes and products. Also, it is recognized that the traditional approach to this, the RPN, has limitations that may compromise the entire process. Considering these findings, different approaches have been proposed to improve the efficiency of the traditional FMEA approach. In the present paper, a differentiated approach that combines experts' opinion similarity aggregation and discrete Choquet integrals, in a fully probabilistic framework is employed. The choice of CPP for modeling a FMEA problem was based on the literature on risk analysis. The main advantage of the CPP for this kind of applications is concerned to its nonlinearity, which makes it especially useful for solving FMEA problems, by assigning values at the extremes of the "SOD" criteria scales. This reduces distortions identified when applying the product directly from the evaluations to the RPN. To illustrate the proposed method, a simplified real case associated with an auxiliary feed water system of two loop nuclear power plant is discussed. The results showed the applicability and the accuracy of the methodological proposal to cases like those presented here.

REFERENCES

- [1] Bolger, F. e Rowe, G. (2015). The aggregation of expert judgment: Do good things come to those who weight? *Risk Analysis*, 35:5–11.
- [2] Bouyssou, D. (1990). Building criteria: A prerequisite for mcda. In Springer, editor, *Readings in multiple criteria decision aid*. Springer.
- [3] Bowles, J. B. (1998). The new sae fmeca standard. In *Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium*, p. 48–53. IEEE.
- [4] Bowles, J. B. (2003). An assessment of rpn prioritization in a failure modes effects and criticality analysis. In *Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium*, p. 380–386. IEEE.
- [5] Bowles, J. B. e Bonnell, R. D. (1998). Failure mode effects and criticality analysis: What it is and how to use it. *Topics in Reliability Maintainability Statistics*.
- [6] Bowles, J. B. e Peláez, C. E. (1995). Fuzzy logic prioritization of failures in a system failure mode, effects, and criticality analysis. *Reliability Engineering System Safety*, 50:203–213.
- [7] Choquet, G. (1953). Theory of capacities. In *Annales de l'institut Fourier*, p. 131–295. Institut Fourier.
- [8] Cooke, R., Mendel, M., e Thijs, W. (1988). Calibration and information in expert resolution: a classical approach. *Automatica*, 24:87–93.
- [9] Fullwood, R. R. (2000). Probabilistic risk assessment in chemical and nuclear industries. *Probabilistic risk assessment in chemical and nuclear industries*.
- [10] Garcia, P. A. A., Garcia, V. S., Saldanha, P. L. C., e Jacinto, C. M. C. (2015). Combined use of composition of probabilistic preferences and entropy weighting for failure mode prioritization. In *European Safety and Reliability Conference - ESREL 2015*, p. 380–386, Zurique. CRC Press.
- [11] Garcia, P. A. A., Oliveira, M. A., Leal, I. C., Motta, G. S., e Frutuoso e Melo, P. F. F. (2013). Probabilistic preferences composition for failure mode prioritization in fmea. In *European Safety and Reliability Conference - ESREL 2013*, p. 3109–3113, Amsterdam. CRC Press.
- [12] Gavião, L. O., Sant'Anna, A. P., Lima, G. B. A., e Garcia, P. A. A. (2018). Cpp: Composition of probabilistic preferences. *r package*. Reference manual for R package - Retrieved from <https://cran.r-project.org/package=CPP> version 0.1.0., R Core Team.
- [13] Grabisch, M., Kojadinovic, I., Nantes, S. P., e Meyer, P. (2006). Using the kappalab r package for capacity identification in choquet integral based maut. In *11th International Conference on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-based Systems*, p. 1702–1709.
- [14] Grabisch, M. e Labreuche, C. (2010). A decade of application of the choquet and sugeno integrals in multi-criteria decision aid. *Annals of Operations Research*, 175:247–290.
- [15] Grabisch, M. e Roubens, M. (2000). Application of the choquet integral in multicriteria decision making. In *Fuzzy Measures and Integrals-Theory and Applications*.
- [16] Hsu, H.-M. e Chen, C.-T. (1996). Aggregation of fuzzy opinions under group decision making. *Fuzzy Sets and Systems*, 79:279–285.
- [17] IAEA (1992). Procedure for conducting probabilistic safety assessments of nuclear power plants (level 1): a safety practice. *Procedure Safety Series n. 50*, International Atomic Energy Agency.

- [18] Lapa, C. M. F. e Guimarães, A. C. F. (2004). Fuzzy FMEA applied to pwr chemical and volumetric control system. *Progress in Nuclear Energy*, 44:191–213.
- [19] Mendel, M. B. e Sheridan, T. B. (1989). Filtering information from human experts. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 190:6–16.
- [20] Merad, M., Dechy, N., Serir, L., Grabisch, M., e Marcel, F. (2013). Using a multi-criteria decision aid methodology to implement sustainable development principles within an organization. *European Journal of Operational Research*, 224:603–613.
- [21] Morgan, M. G. (2014). Use (and abuse) of expert elicitation in support of decision making for public policy. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111:7176–7184.
- [22] Pomerol, J.-C. e Barba-Romero, S. (2012). *Multicriterion decision in management: principles and practice*. Springer, New York.
- [23] SAE (2009). Potential failure mode and effects analysis in design, potential failure mode and effects analysis in manufacturing and assembly processes. Procedure SAE J1739, Society of Automotive Engineers.
- [24] Sant’Anna, A. P. (2012). Probabilistic priority numbers for failure modes and effects analysis. *International Journal of Quality Reliability Management*, 29:349–362.
- [25] Sant’Anna, A. P. (2013). Procedimento de cálculo para a composição probabilística de preferências. *Relatório de Pesquisa Em Engenharia de Produção (UFF)*, 13:1–11.
- [26] Sant’Anna, A. P. (2015). *Probabilistic Composition of Preferences, Theory and Applications*. Springer, New York.
- [27] Sant’Anna, A. P. e Junior, R. P. S. P. (2011). Composição probabilística no cálculo das prioridades na fmea. *Sistemas Gestão*, 5:179–191.
- [28] Sant’Anna, A. P., Martins, E. F., Lima, G. B. A., e da Silva, R. F. (2015). Beta distributed preferences in the comparison of failure modes. *Procedia Computer Science*, 55:862–869.
- [29] Sant’Anna, A. P., Meza, L. A., e Ribeiro, R. A. (2014). Probabilistic composition in quality management in the retail trade sector. *International Journal of Quality Reliability Management*, 31:718–736.
- [30] Sant’Anna, A. P. e Sant’Anna, L. A. F. P. (2001). Randomization as a stage in criteria combining. In 7th International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, p. 248–256, Salvador. ICIEOM.
- [31] Shapley, L. S. (1953). A value for n-person games. In H.W., K. e Tucker, A., editors, *Contributions to the Theory of Games*. *Annals of Mathematics Studie*.
- [32] Zadeh, L. A. (1965). Information and control. *Fuzzy Sets*, 8:338–353.

Capítulo 10

Avaliação do perfil de tensão de um sistema de geração distribuída fotovoltaico-eólico: Estudo de caso

Nathalia Cristina Valadão Duarte

Mariana Moraes Oliveira Rocha

Marcio Zamboti Fortes

Tiago Pires Abud

Leticia Fritz Henrique

Resumo: A partir das resoluções normativas 482/2012 e 687/2015 da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), há um crescente estímulo na sociedade brasileira à implantação da mini e microgeração distribuída. Uma das configurações possíveis de Geração Distribuída (GD) inclui sistemas híbridos que podem ligar sistemas eólicos, fotovoltaicos e de armazenamento. No estudo de caso proposto, um sistema híbrido fotovoltaico-eólico de um condomínio residencial é conectado a um alimentador de distribuição real na cidade de Armação de Búzios, e seu impacto na qualidade de energia é avaliado por meio do software OpenDSS. Três cenários são analisados em termos de magnitude e desequilíbrio de tensão. Como principal resultado, o sistema híbrido dimensionado ocasionou um aumento nos níveis de desequilíbrio de tensão na barra de ligação entre a rede e o condomínio residencial, porém manteve-se dentro da faixa adequada.

Palavras-Chave: Fontes de Energia Renováveis, Geração Distribuída, Qualidade de Energia, Tensão Elétrica, OpenDSS.

1. INTRODUÇÃO

O consumidor brasileiro adquire o ensejo de gerar sua própria energia, empregando fontes renováveis ou cogeração qualificada. Esta circunstância se dá pela utilização da Resolução Normativa da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) 482/2012 [1], que define a geração distribuída (GD) e regulamenta o acesso da GD aos sistemas de distribuição de energia elétrica. A resolução apresenta vantagens para o consumidor e a distribuidora de energia, pois possibilita que o consumidor mitigue suas despesas com a conta de energia e conceda o excedente de sua geração para a rede de distribuição através do sistema de compensação de energia elétrica. Com a Resolução Normativa 687/2015 [2], efetuou-se aperfeiçoamento nas alíneas da resolução anterior, dentre os quais se destacam: a microgeração que passou a ser 75 kW; e a minigeração passou a ser entre 75 kW e 5MW.

A produção de energia próximo ao centro de consumo, GD, é formada principalmente por fontes renováveis, de fácil instalação e formato compacto, tais como painéis fotovoltaicos e aerogeradores. Essas fontes apresentam menores malefícios ao meio ambiente e baixo custo de implantação, operação e manutenção em comparação às fontes hídricas e térmicas [3]. Além disto, em razão do longo período de estiagem que o Brasil tem vivenciado, as fontes renováveis são uma alternativa para a diversificação da matriz energética nacional [4], reduzindo a dependência dos combustíveis fósseis, como carvão e petróleo, que operam na carência de outras fontes geradoras, elevando o custo da energia e a emissão de gases de efeito estufa [5]. Por outro lado, no segmento da distribuição, a GD pode postergar investimentos na rede elétrica e melhorar o nível de tensão no período de carga pesada [6].

Entretanto, a utilização de energias renováveis pode enfrentar reverses por sua imprevisibilidade. Ainda assim, a intermitência dos recursos renováveis pode ser parcial ou totalmente superada quando utilizada em conjunto com mais de uma fonte, compondo um sistema híbrido [7]. Segundo a definição apresentada em [8], sistema híbrido é aquele que utiliza mais de uma fonte de energia que, dependendo da disponibilidade dos recursos, deve gerar e distribuir energia elétrica, de forma otimizada e com custos mínimos, a uma determinada carga ou a uma rede elétrica, isolada ou conectada a outras redes. Dada a possibilidade de uma fonte suprir a falta temporária de outra, esse tipo de sistema tem opções de suprimento para operar mesmo diante de cenários com maiores riscos de interrupção.

Na maior parte dos casos, pequenos geradores próximos às cargas podem proporcionar diversos benefícios ao sistema elétrico, como já fora citado anteriormente. Entretanto, a elevação do quantitativo dessas GDs instaladas ao longo da rede de distribuição pode trazer desvantagens como: o aumento da complexidade de operação da rede, a dificuldade na cobrança pelo uso do sistema elétrico, a eventual incidência de tributos e a necessidade de alteração dos procedimentos das distribuidoras para operar, controlar, proteger e planejar suas redes [6].

O objetivo deste trabalho é analisar o impacto de uma GD híbrida na rede de distribuição. Para tal, é proposto um estudo de caso em que um sistema de geração de energia eólica e solar fotovoltaica é inserido em um condomínio residencial, conectado a uma barra de um alimentador do sistema distribuição, localizado na cidade de Armação dos Búzios, Rio de Janeiro – Brasil. A análise inclui a avaliação do comportamento da tensão tanto em termos de magnitude quanto diante de possíveis desequilíbrios. Assim, são avaliados três cenários para o sistema proposto: (i) caso base, sem GD; (ii) GD trifásica equilibrada; e (iii) GD bifásica desequilibrada. Os parâmetros de qualidade de energia elétrica analisados levam em consideração padrões estabelecidos pelo Módulo 8 do PRODIST (Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional) [9].

Este trabalho está organizado em seis seções. Na Seção II, apresenta-se um breve resumo e histórico sobre sistemas híbridos. Seguindo, a Seção III aborda a metodologia utilizada e a Seção IV detalha o dimensionamento dos sistemas solar e eólico. Por último, as Seções V e VI apresentam os resultados do estudo de caso e as principais conclusões, respectivamente.

2. SISTEMAS HÍBRIDOS

2.1. HISTÓRICO DE SISTEMAS HÍBRIDOS

Define-se hibridismo de fontes energéticas como a capacidade de dois ou mais recursos (da mesma fonte ou de fontes distintas) apresentarem disponibilidade de energia complementar no tempo [10].

Os sistemas híbridos vêm sendo instalados em vários países, nas últimas décadas, com o intuito de fornecer energia elétrica para comunidades isoladas, para pequenos sistemas de bombeamento e dessalinização de água, refrigeração, entre outras aplicações.

A utilização de tais sistemas iniciou-se na década de 1970, em busca de uma alternativa energética diante da crise do petróleo de 1973. Dentre os sistemas híbridos implantados nessa década, destacam-se os seguintes sistemas como os pioneiros:

- (i) Sistema híbrido eólico-diesel instalado no ano de 1977, em Clayton, Novo México, Estados Unidos da América (EUA) [11];
- (ii) Sistema híbrido fotovoltaico-diesel instalado no ano de 1978, na reserva indígena Papago, Arizona, EUA [12].

Com o aprimoramento das tecnologias fotovoltaica e eólica e com o bom desempenho dos sistemas híbridos fotovoltaico-diesel e eólico-diesel, no final da década de 1990, a inserção desses sistemas passa a possuir, também, motivação ambiental. Destaca-se que no mesmo período surgiram outros tipos de configurações energéticas.

O primeiro sistema híbrido do Brasil corresponde ao sistema eólico-diesel de Fernando de Noronha, no Estado de Pernambuco, que foi implantado no ano de 1986, sendo composto por uma potência eólica de 75 kW e diesel-elétrica de 50 kW. Posteriormente, o sistema foi redimensionado e é hoje o maior sistema eólico-diesel do país, contando com uma capacidade nominal de geração de 2,1 MW, configurada por: 300 kW eólica e 1,8 MW diesel-elétrica [13].

Os sistemas híbridos podem compartilhar conexão com a rede elétrica convencional, na qual a energia excedente gerada é entregue à rede, complementando, assim, a geração de outra fonte.

A interligação dos sistemas tem como principal vantagem o intercâmbio da energia elétrica entre os seus diversos pontos de geração e de consumo. Para a interligação, é indispensável a utilização de equipamentos adequados, que atuem na proteção, inversão e sincronismo do nível de tensão e frequência das fontes de GD, garantindo, dessa forma, a qualidade da energia elétrica em regime permanente ou em situações de contingência, como falta na rede, perdas de geração, entre outras ocorrências [8].

2.2. REVISÃO DA LITERATURA

Apesar dos benefícios da GD, uma alta penetração desses sistemas nas redes de distribuição pode trazer problemas técnicos associados à ocorrência de fluxo reverso, trazendo novos desafios na operação e planejamento dessas redes. Por isso, as redes de distribuição ativas (devido à conexão de GD) necessitam de maiores investimentos em termos de reforços, procedimentos operacionais e planejamento, do que as redes de distribuição convencionais [14].

Nayak e Vinod *et al.* [15], analisaram através do *software* Matlab/Simulink, uma GD eólica e fotovoltaica. Os resultados da simulação mostram o desempenho do controlador e o comportamento dinâmico do sistema para diferentes cargas, usando estratégias de controle VSI (Inversor de Fonte de Tensão, do inglês *Voltage Source Inverter*) e de controle PQ (Inversor que controla a potência ativa e reativa); conectado à rede. Esse sistema apresentou um fornecimento de energia confiável, de alta qualidade e mais eficiente ao consumidor.

Maciel *et al.* [16] demonstraram como os dados da infraestrutura de medição avançada (AMI) podem melhorar os estudos do impacto da GD nas redes de distribuição de baixa tensão (BT), através da simulação de um alimentador de distribuição do município de Armação dos Búzios utilizando-se o *software* OpenDSS®. Os resultados mostram que a AMI pode fornecer dados importantes para a realização de estudos de impacto da GD nas redes de distribuição de BT. Ao estudar de forma similar a mesma rede de distribuição, Machado *et al.* [17] propõem uma metodologia para avaliar o impacto da GD no sistema de distribuição elétrica, considerando o perfil econômico do cliente.

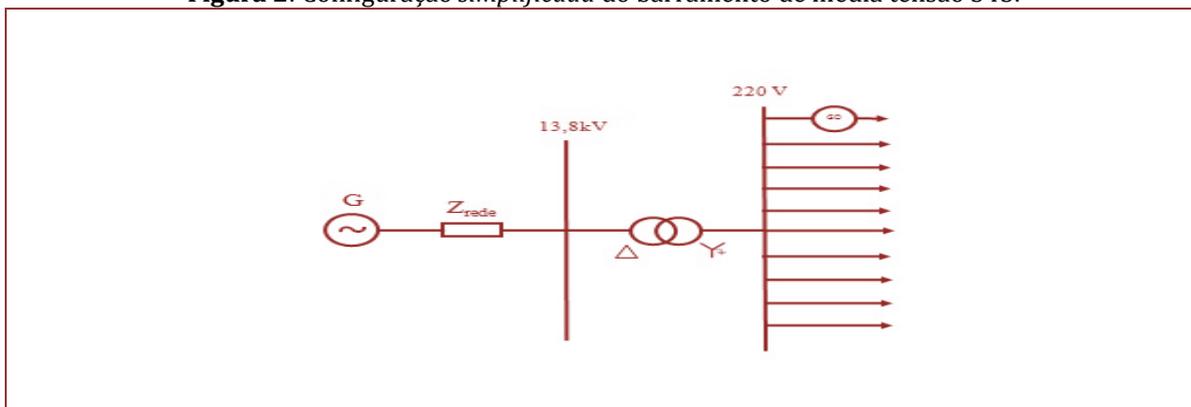
3. METODOLOGIA PROPOSTA

O desenvolvimento deste estudo é realizado com base na análise, em regime permanente, de uma rede de distribuição real no município de Armação dos Búzios no Estado do Rio de Janeiro, Brasil. A rede é configurada em Abud *et al.* [18], sendo constituída por 343 barras em um arranjo radial do alimentador radial. O sistema híbrido é alocado no condomínio residencial localizado na barra 343. A disposição dessa rede é vista na Figura 1, e a topologia da barra do condomínio está apresentada na Figura 2.

Figura 1: Configuração rede de distribuição, Armação de Búzios [19].



Figura 2: Configuração simplificada do barramento de média tensão 343.

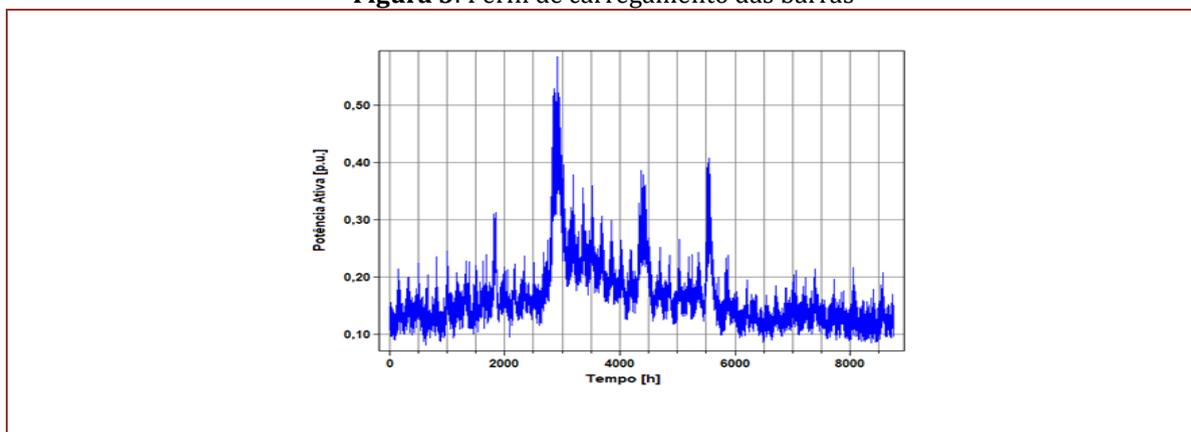


3.1. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso apresentado neste artigo se baseia em um sistema de GD híbrida (solar fotovoltaica e eólica) a ser instalado em um condomínio residencial com 20 casas, conectado a uma das barras de baixa tensão do circuito. O objetivo é atender a carga da área comum com o sistema híbrido e cada uma das 20 unidades consumidoras, com seu respectivo sistema solar fotovoltaico.

A Figura 3 apresenta o perfil de carga, isto é, o perfil da potência ativa, em p.u., ao longo do tempo, em um intervalo horário, em todas as barras conectadas ao barramento principal, de média tensão. A Figura 3 representa as medições da subestação, no alimentador estudado, nas datas de 01 de setembro de 2013 até 31 de agosto de 2014.

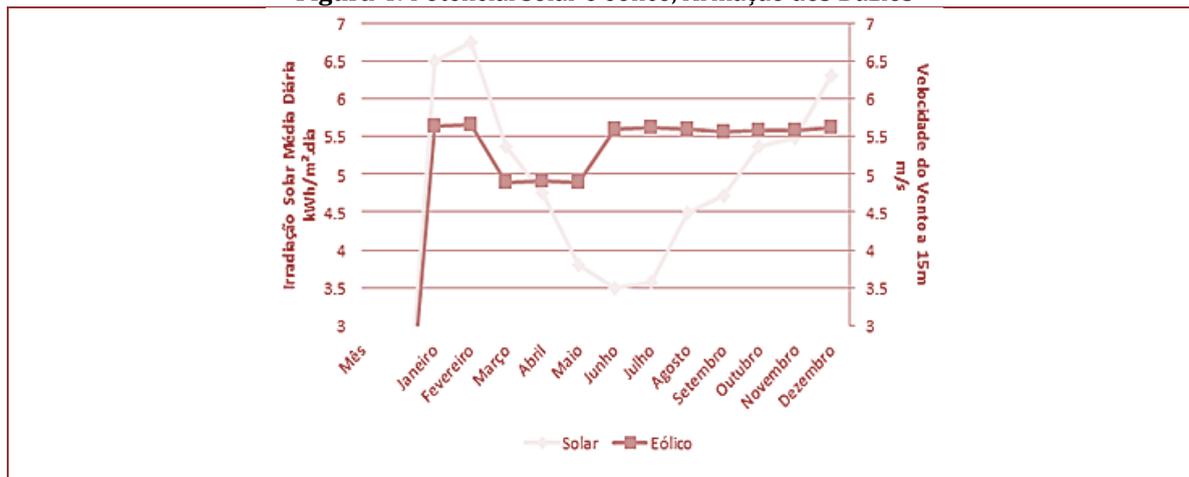
Figura 3: Perfil de carregamento das barras



3.2. POTENCIAL EÓLICO E SOLAR DA REGIÃO

O potencial solar e eólico é representado, mês a mês, a partir de dados históricos registrados em [13] e [20] para a região de Búzios, conforme Figura 4, em que se pode observar a complementaridade entre essas fontes.

Figura 4: Potencial solar e eólico, Armação dos Búzios



3.3. DIMENSIONAMENTO POTENCIAL EÓLICO E SOLAR NA REGIÃO

Para a análise e o dimensionamento do sistema híbrido de GD, eólico e solar, são realizadas as seguintes etapas [21]:

3.3.1. ANÁLISE DE DADOS PARA PLANEJAMENTO DO SISTEMA EÓLICO

A Equação (1) descreve um dos métodos mais utilizados para realizar a extrapolação dos dados de velocidade do vento para diferentes alturas da turbina eólica, conhecido como Lei Logarítmica [22].

$$v_2 = v_1 \cdot \ln\left(\frac{h_2}{z_0}\right) \cdot \ln\left(\frac{h_1}{z_0}\right) \quad (1)$$

Onde:

- v_1 - velocidade do vento conhecida para a altura h_1 ;
- v_2 - velocidade do vento para a altura h_2 que se deseja conhecer a velocidade do vento;
- Z_0 - comprimento de rugosidade do vento.

A partir dos valores médios dos fatores c e k , contidos nos dados [23], obteve-se a curva de Weibull para a localidade. A função densidade de probabilidade de Weibull é dada pela Equação (2).

$$E_p = \Delta V \cdot \frac{K}{v} \cdot \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \cdot e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (2)$$

Onde:

- o parâmetro k , adimensional, indica a uniformidade da distribuição dos valores da velocidade e
- o parâmetro c possui dimensão de velocidade e a qualifica.

Dispondo dos dados da curva de potência do aerogerador e os históricos do vento da região estima-se a geração média mensal em kWh para o aerogerador. Conforme o perfil de carga do consumidor calcula-se um número de aerogeradores que atenda à demanda da instalação.

Considerando-se um período de um ano (8.760 horas), a energia anual gerada pode ser dada pela Equação (3).

$$E_{ano} = \sum_{v=v_{min}}^{v_{max}} 8760 \cdot (f(v) \cdot P(v)) \quad (3)$$

Onde:

- E_{ano} é a energia produzida em um ano;
- V_{min} é a menor velocidade do vento;
- V_{max} é a maior velocidade do vento;
- $P(v)$ é a potência produzida pelo aerogerador em função da velocidade do vento.

3.3.2. ANÁLISE DE DADOS PARA PLANEJAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

A disponibilidade de radiação solar é determinada pela hora do dia, pelo dia do ano e pela latitude local [24]. De acordo com [25], consegue-se definir a capacidade total de geração fotovoltaica requerida (P_{PV}). Esta pode ser calculada, de acordo com a Equação (4).

$$P_{PV} = \frac{E_{cd}}{S_d} \times d \quad (4)$$

Onde:

- E_{cd} é a energia de compensação média diária;
- S_d é a duração média de radiação solar diária;
- d é o fator de redução relacionado à eficiência dos painéis solares, tais como sombra, cobertura de poeira, envelhecimento, entre outros [26]
- P_{PV} é medido em kW.

A quantidade de painéis a serem utilizados em projeto pode ser calculada de acordo com a Equação (5).

$$N_{pv} = \frac{P_{PV}}{P_0} \quad (5)$$

Sendo P_0 a potência nominal de cada painel.

3.3.2. ANÁLISE DE TENSÃO

Nessa subseção, a magnitude e o desequilíbrio de tensão serão analisados em conformidade com o Módulo 8 do PRODIST

3.3.2.1. LIMITES DE TENSÃO DE ATENDIMENTO

A tabela I apresenta os limites de tensão de atendimento (TA), de acordo com o Módulo 8 do PRODIST, com a classificação em adequada, precária e crítica.

Tabela I Pontos de conexão em Tensão Nominal igual ou inferior a 1 kV (220/127)

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (Volts)
Adequada	$(202 \leq TL \leq 231) / (117 \leq TL \leq 133)$
Precária	$(191 \leq TL \leq 202 \text{ ou } 231 \leq TL \leq 233) /$
	$(110 \leq TL \leq 117 \text{ ou } 133 \leq TL \leq 135)$
Crítica	$(TL < 191 \text{ ou } TL > 233) / (TL < 110 \text{ ou } TL > 135)$

Neste estudo, considerou-se a tensão nominal 220/127V.

3.3.2.2. DESEQUILÍBRIOS DE TENSÃO

O desequilíbrio de tensão, pode ser definido como o fenômeno caracterizado por qualquer diferença verificada nas amplitudes entre as três tensões de fase de um determinado sistema trifásico, e/ou na defasagem elétrica de 120° entre as tensões de fase do mesmo sistema.

A Tabela II apresenta a terminologia aplicável ao cálculo do desequilíbrio de tensão.

Tabela II Terminologia

Identificação da Grandeza	Símbolo
Fator de desequilíbrio de tensão	FD
Magnitude da tensão eficaz de sequência negativa - frequência fundamental	V-
Magnitude da tensão eficaz de sequência positiva - frequência fundamental	V+
Magnitudes das tensões eficazes de linha - frequência fundamental	Vab, Vbc e Vca
Valor do indicador FD% que foi superado em apenas 5 % das 1008 leituras válidas	FD95%

De acordo com as grandezas contidas na tabela II, calcula-se o fator desequilíbrio de tensão percentual (FD%) para cada cenário.

$$FD\% = \frac{v_-}{v_+} \times 100 \quad (6)$$

3.3.2.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA HÍBRIDO

O dimensionamento do sistema híbrido, eólico e solar fotovoltaico, foi realizado em complemento energético. De acordo com o exposto na Seção III no item C é possível especificar as Tabelas III, IV, V e VI. A Tabela III demonstra o perfil de consumo dos clientes do condomínio, ao passo que as demais apresentam as características técnicas do sistema híbrido do condomínio e do sistema fotovoltaico das residências do condomínio.

Tabela III Potência Instalada no Condomínio

Potência Instalada no Condomínio			
Local	Potência	Sistema dimensionado	Observações
Área comum	72,5kW	Eólico e fotovoltaico	Locais no condômino que compõem áreas comuns a todos os moradores, como por exemplo, piscinas, salão de festas, área gourmet, entre outras.
Unidade residencial	39,8 kW	Fotovoltaico	Valor correspondente a cada casa. Para as análises foram consideradas as vinte unidades residenciais.

Tabela IV: Dados característicos do sistema eólico

Dados e característica do Sistema Eólico	
Grandeza	Medida
FC	13,4 %
Altura de referência	50 m
Altura da torre	15 m
Velocidade de referência	7,3 m/s
Velocidade corrigida	5,48 m/s
Fator de Weibull	1,9
Rugosidade	0,4
Potência nominal	10 Kw
Potência 15 m	1,8 kW
Energia produzida	1551 kWh/mês
Energia produzida Corrigida	1619.73kWh/mês

Tabela V: Dados característicos do sistema fotovoltaico- residencial

Sistema Fotovoltaico – Residencial		
Grandeza	Nomenclatura	Valores/ Unidades
Consumo Médio Mensal	Fmm	631,4 kWh
Custo de Disponibilidade –Trifásico	Fmin	100 kWh
Energia Mensal	Ec	531,4 kWh
Energia Média Diária	Ecd= Ec/30	17,7 kWh
Capacidade do SFV	Ppv	4,4 kWp

Tabela VI: Dados característicos do sistema fotovoltaico- Condomínio

Sistema Fotovoltaico – Condomínio		
Grandeza	Nomenclatura	Valores / Unidades
Consumo Médio Mensal	Fmm	7,0 MWh
Custo de Disponibilidade-Trifásico	Fmin	100 kWh
Energia Mensal	Ec	6,9 MWh
Energia Média Diária	Ecd= Ec/30	230 kWh
Capacidade do SFV	Ppv	56,8 kWp

3.3.2.4. AVALIAÇÃO DE RESULTADOS

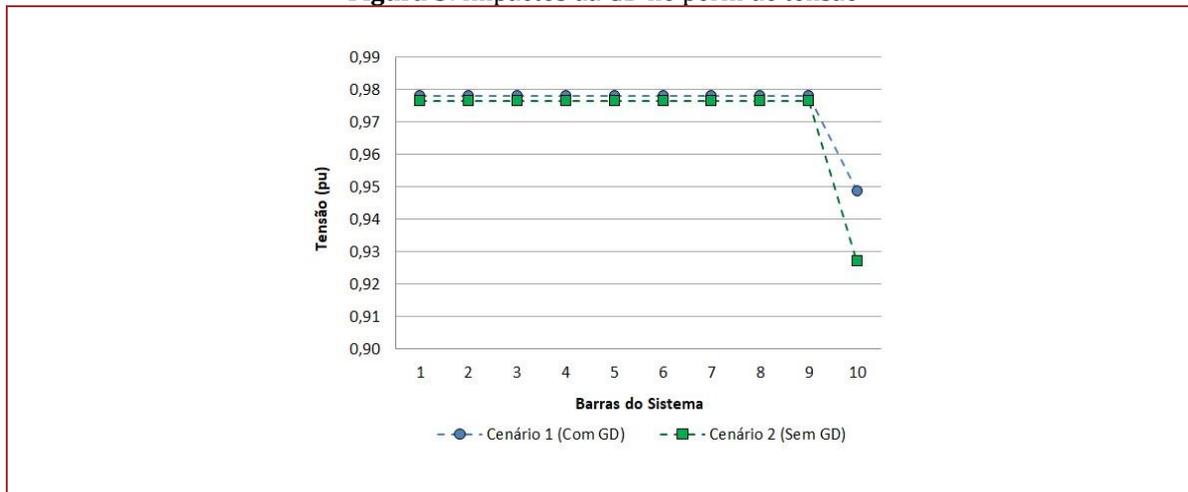
O *software* OpenDSS, que é capaz de realizar análises necessárias para atender Redes Elétricas Inteligentes (*Smart Grids*) e GD, foi utilizado para a implementação computacional do estudo. A análise realizada está centralizada nos impactos acarretados pela GD no perfil de tensão e desequilíbrio entre as fases. Portanto, utiliza-se o modelo *PVSystem* trifásico para o sistema fotovoltaico e é configurada um perfil do índice de vento para o aerogerador [27-28]. A partir disso, as seguintes etapas são realizadas:

- Cenário 1: Sistema com GD trifásica equilibrada;
- Cenário 2: Sistema sem GD;
- Cenário 3: Sistema com GD desequilibrada por possuir um inversor bifásico.

1) AVALIAÇÃO 1- PERFIL DE TENSÃO NAS BARRAS

A partir da implementação da rede básica, disponível em [18], realiza-se a inserção dos dados do aerogerador e do sistema fotovoltaico provenientes do dimensionamento descrito na Seção IV. A Figura 5 ilustra o perfil de tensão (pu) de todas as barras, nos cenários 1 e 2, considerando que todos os transformadores de 13,8/0,22 kV estão em máximo carregamento.

Figura 5: Impactos da GD no perfil de tensão

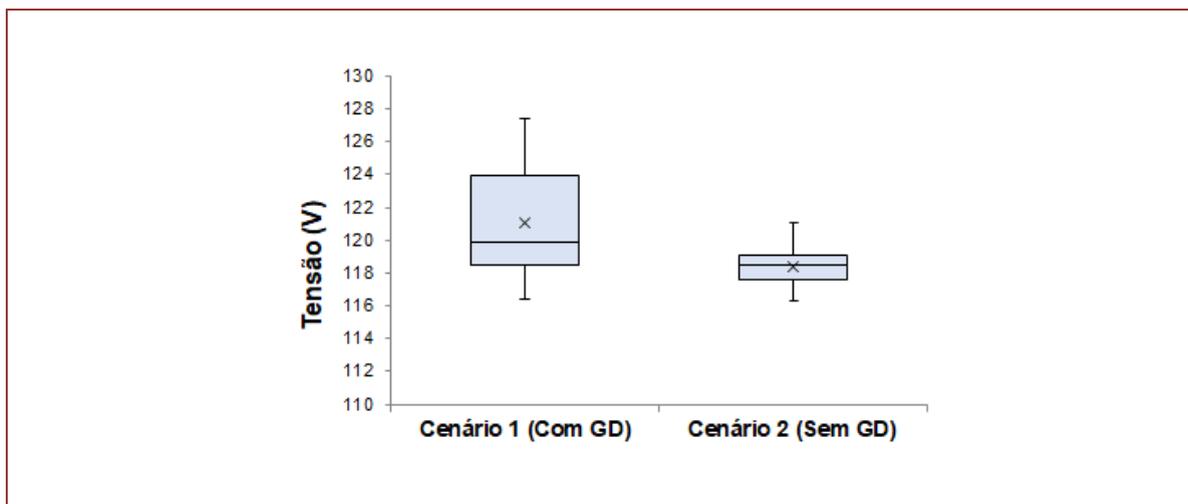


Pode-se analisar através da Fig. 5 que a GD dimensionada no estudo eleva os níveis de tensão de todas as outras barras da rede de baixa tensão a qual está conectada. Essa elevação não provoca impactos consideráveis, uma vez que as barras permanecem dentro do nível adequado de tensão, conforme o módulo 8 do PRODIST. Com relação à barra em que a GD se encontra, os níveis de tensão continuam, dentro dos padrões estabelecidos por norma, em aproximadamente 0,92 pu para o cenário 2 e 0,95 pu, para o cenário 1. Contudo, em alguns períodos é observado valores precários como será visto adiante.

2) AVALIAÇÃO 2- NÍVEIS DE TENSÃO NA BARRA 10

Com o intuito de avaliar os valores dos níveis de tensão na barra 10, fez-se o monitoramento dessa barra para os cenários 1 e 2, com período de simulação considerando 10 dias. O resultado pode ser observado de acordo com a Figura 6.

Figura 6: Diagrama de caixa de tensão (V) – Análise de 10 dias



A Figura 6 revela que o diagrama de caixa do cenário 1 possui um maior intervalo interquartil, indicando que os dados estão muito mais distribuídos que no cenário 2. Além disso, o cenário 1 possui média igual a 121 V (representada por “x”), mediana igual a 120 V, e há uma ocorrência de valores maiores de tensão, ultrapassando 127 V. Por outro lado, o cenário 2 apresenta dados mais concentrados em níveis menores de tensão, com média e a mediana iguais a 118 V. Para ambos os cenários, os níveis de tensão estão na maior parte do tempo dentro dos limites adequados pelo módulo 8 do PRODIST, exceto pela ocorrência de tensão inferior a 117V, já considerada como precária.

3) AVALIAÇÃO 3 - PERFIL DE TENSÃO POR FASE

Para os cenários 2 e 3 é realizada a análise do perfil de tensão por fase no período de um dia, medido pelo OpenDSS em intervalos de 15 minutos e compilados, com auxílio do Excel, para a média em 1 hora no barramento de alimentação do condomínio, conforme Figura 7 e Figura 8.

Figura 7: Perfil de tensão diário do cenário 2 [21]

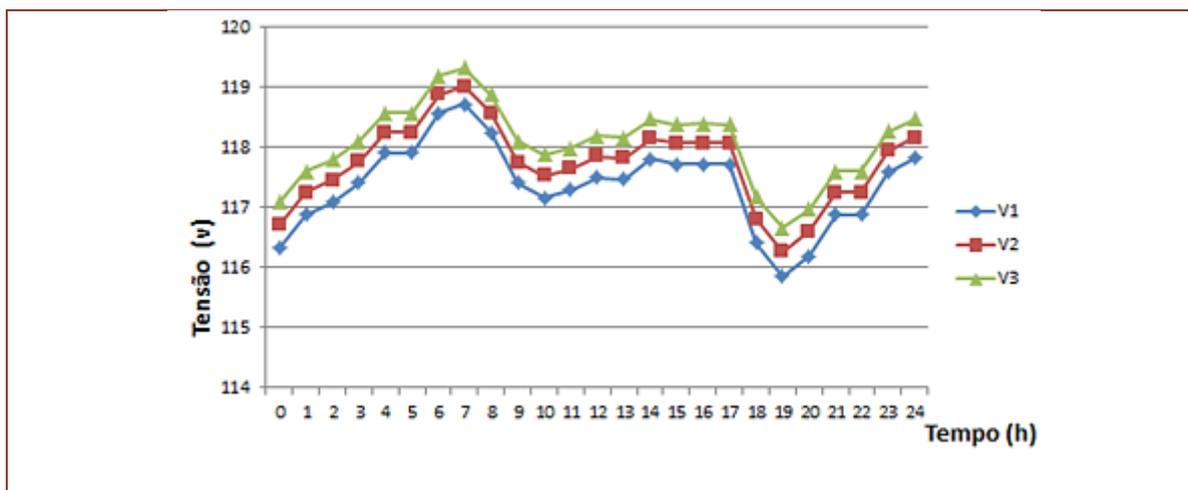
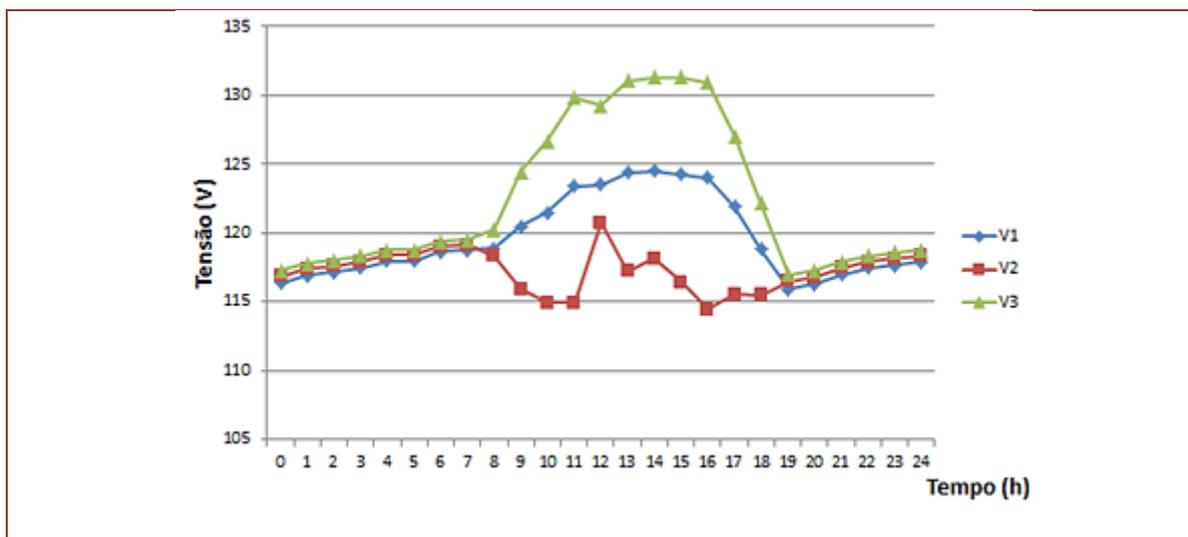


Figura 8: Perfil de tensão diário do cenário 3 [21]

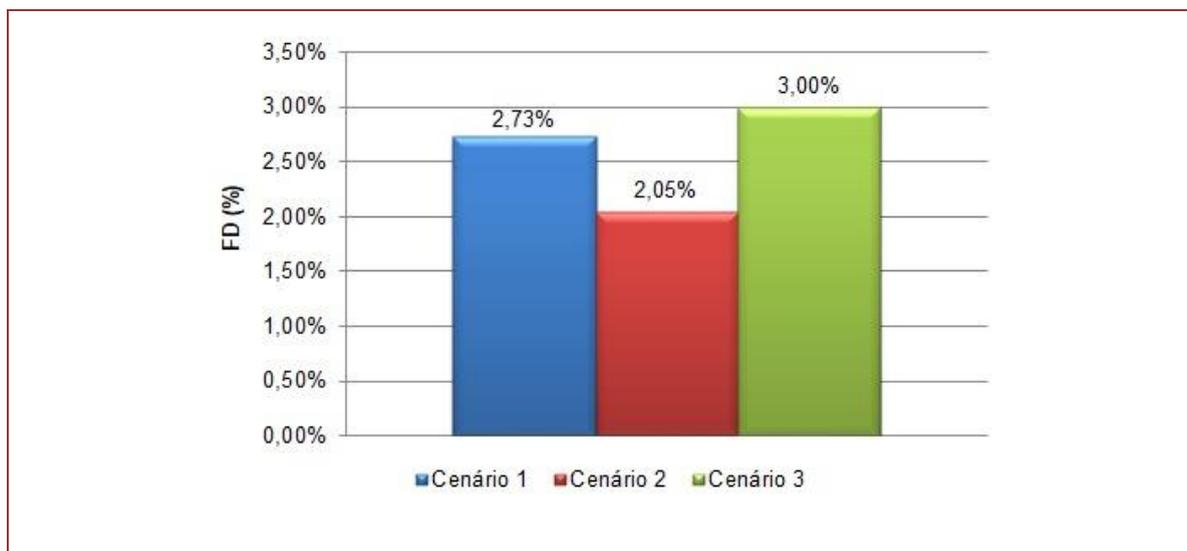


A partir das Figuras 7 e 8, observa-se um acentuado desequilíbrio entre fases nas horas de maior geração da GD. Esse efeito ocorre devido à conexão bifásica do inversor, provocando uma elevação na tensão principalmente na fase c (representada por V3)

4) AVALIAÇÃO 4 – DESEQUILÍBRIO DE TENSÃO

Conforme a Figura 9, pode-se verificar que a GD aumenta o desequilíbrio de tensão entre as fases, sobretudo no cenário 3. Embora esse acréscimo não viole o FD% máximo de 3%, definido pelo módulo 8 do PRODIST [9], os valores obtidos estão próximos ao limite máximo admissível, devendo ser investigados com cautela pela distribuidora local.

Figura 9: Desequilíbrio de Tensão



4. CONCLUSÃO

O artigo avaliou os impactos da inserção de GD híbrida, solar fotovoltaica e eólica, em uma rede de distribuição real. Como resposta, o estudo de caso mostra que, embora a GD eleve os níveis de tensão e aumente o desequilíbrio de tensão (especialmente, ao se empregar um inversor fotovoltaico bifásico), a instalação do sistema híbrido não violou nenhum dos indicadores de qualidade de energia avaliados. Destaca-se, no entanto, que a rede analisada apresenta inicialmente níveis baixos de tensão considerados precários, mas que podem ser melhorados com a inserção de GD. Ademais, essa rede também apresenta um alto desequilíbrio, que necessita ser inspecionado com cautela pela concessionária local.

O nível de tensão no barramento em que está instalado o condomínio variou de forma a dispor de um acréscimo de 3,2%, ao comparar o cenário com a GD trifásica equilibrada, e o cenário sem a GD, atingindo valores de: 0,95 pu e 0,92 pu, respectivamente. Entretanto, ambos estão dentro do nível adequado de tensão.

Ao realizar a análise no diagrama de caixa de ocorrência dos níveis de tensão, observa-se que o cenário 1 apresenta ocorrência de valores maiores de tensão, ultrapassando 127 V. Enquanto que o cenário 2 exibe dados mais concentrados em níveis mais baixos de tensão, com média e a mediana iguais a 118 V. Nos dois cenários, a maior ocorrência dos níveis de tensão está em conformidade com os limites adequados, classificados de acordo com o módulo 8 do PRODIST, excetuando-se a ocorrência de tensão inferior a 117V, já considerada como precária.

Analisando o desequilíbrio de tensão entre as fases, na barra em que se conecta a GD, ao comparar o cenário 2 (sem GD) com o cenário 1 (com GD trifásica equilibrada), observa-se um acréscimo de 33,17% nesse parâmetro; e um aumento de 43,34% comparando o cenário 2 ao cenário 3, no qual se considera a GD desequilibrada.

Isto posto, a instalação da GD não ofereceu impactos significativos para a rede de distribuição examinada pelo estudo de caso proposto. No entanto, esta conclusão não deve ser generalizada. A influência da GD nos indicadores de qualidade de energia, sobretudo em redes com maior penetração de GD deve ser avaliada. No que concerne aos sistemas híbridos, a combinação entre fontes renováveis pode aprimorar a capacidade de geração de energia elétrica e possibilitar segurança energética diante das possíveis interrupções da instalação.

REFERÊNCIAS

- [1] Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, Brasil, 2012.
- [2] Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015, Brasil, 2015.
- [3] Ministério das Minas e Energia (MME), "ProGDP Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica," 2017.
- [4] D. W. F. Touma and A. M. Cassula, "Saving energy by changing the tariff structure and applying flag fees in Brazil," 2018 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2018, pp. 1096-1102, doi: 10.1109/ECCE.2018.8557996.
- [5] Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, Atlas de Energia Elétrica do Brasil - Outras Fontes - Parte II, Fontes Renováveis - Capítulo 5.
- [6] ANEEL - Contribuições para consulta pública cp 10/2018: aprimoramento das regras aplicáveis à micro e minigeração distribuída - resolução normativa 482/2012, Enel Brasil, Julho de 2018..
- [7] Revista O setor elétrico. [Online]. Disponível: <https://www.osetoelettrico.com.br/>
- [8] Ministério das Minas e Energia (MME), "Sistemas híbridos - Soluções energéticas para a Amazônia", 2008.
- [9] ANEEL, "Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST - Revisão 8 / Módulo 8 - Qualidade da Energia Elétrica," Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasil, Jan, 2016.
- [10] EPE - Empresa de Pesquisa Energética. [Online]. Disponível: <http://www.epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/expansao-da-geracao/fontes>.
- [11] P.J A Quilan. "Times Series of Modeling Hybrid Wind Photovoltaic Diesel Power Systems," 1996, Master Degree Thesis, University Wisconsin, Madison, EUA.
- [12] V. C. Nelson, R. E. Forster, R. N. Clark and D. Raubenheimer "Wind Hybrid Systems Technology Characterization, 2002, Technical Report, Southwest Technology Development Institute, New Mexico State University.
- [13] CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito / CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - Potencial Solar – SunData v30.
- [14] N. Kagan, M. Gouvea, Redes Elétrica Inteligentes no Brasil - Análise de custo e benefícios de um plano nacional de implantação. [S.l.]: Synergia Editora, 2013.
- [15] S. K. Nayak and H. Vinod, "Performance study of common DC link connected wind and PV hybrid system," 2016 IEEE 7th Power India International Conference (PIICON), 2016, pp. 1-5.
- [16] R. Maciel et al., 2017. DG impact evaluation on LV distribution grids using AMI data: a Brazilian case study. CIREN - Open Access Proceedings Journal, p.1699-1702.
- [17] I. S. Machado, B. S. M. C. Borba, R. S. Maciel, Modeling Distributed PV Market and its Impacts on Distribution System: A Brazilian Case Study. IEEE Latin America Transactions, IEEE, v. 14, n. 11, p. 4520-4526, 2016
- [18] T. P. Abud ; B. S. M. C. Borba ; R. S. Maciel; I. de S. Machado; M. Z. Fortes, "Voltage Control Analysis of Photovoltaic Inverters Using a Real Brazilian Distribution Network", 2017 IEEE 8th International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG), p. 1-7, 2017.
- [19] H. K. Miyamoto, F. R. Braga, G. R. Souza, M. Z. Fortes, D. H. N. Dias "Impacts on Distributed Generation with Harmonics Analysis – Case Study", Simposio Brasileiro de Sistemas Elétricos (SBSE), Niterói, 2018, p. 1-6. /
- [20] CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito / CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - Potencial Solar – SunData v30.
- [21] N. C. V. Duarte; M. M. O. Rocha; M. Z. Fortes; T. P. Abud e L. F. Henrique, Análise do impacto de geração distribuída híbrida nos níveis de tensão - Estudo de Caso. In: ANAIS DA XIV CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA, 2021, Online. Anais eletrônicos Campinas, Galoá, 2021. Disponível em: <https://proceedings.science/cbqee-2021/papers/analise-do-impacto-de-geracao-distribuida-hibrida-nos-niveis-de-tensao---estudo-de-caso..>
- [22] G. Gualtieri, S. Secci, "Methods to extrapolate wind resource to the turbine hub height based on power law: A 1-h wind speed vs. Weibull distribution extrapolation comparison". Renewable Energy, v. 43, p. 183-200, jul. 2012.
- [23] Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito - CRESESB (2001), "Atlas do Potencial Eólico Brasileiro", Brasil, 2001.

- [24] Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, "Atlas de Energia Elétrica do Brasil, 2ª edição". - [Online]. Disponível: http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/energia_solar/3_2.htm
- [25] A. Nawawi, Z. Jasuan, and H. Samulah "Comparative Analysis of Applications Off-Grid PV System and On-Grid PV System for Households in Indonesia", International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICECOS), Pangkal Pinang, 2018, p. 253–258.
- [26] M. Y. I. Abdalla Y. Mohammed, Farog L. Mohammed, "Grid Connected Photovoltaic System," 2017 Int. Conf. Commun. Control. Comput. Electron. Eng., vol. 6, pp. 141–146, 2017
- [27] Estado do Rio de Janeiro Atlas Eólico, "Projeto de Incentivo ao Uso de Fontes Alternativas de Energia e à Conservação de Energia no Estado do Rio de Janeiro", 2002.
- [28] L. C. S. Pereira, "Aerogeradores de pequeno porte tecnologia e aplicação - Fundamentos", 1st ed., parte, Maricá, RJ, Brasil, 2016, pp. 12-25.

Capítulo 11

Critérios de projeto para geração de energia elétrica em bicicletas fixas

Bruna Ribeiro Santos

Reginaldo Vagner Ferreira

Marcela Camargo Matteuzzo

Resumo: Este documento propõe a análise, pesquisa e planejamento para elaboração de um sistema que gera energia elétrica renovável pelo movimento de pedalada de uma bicicleta fixa, a fim de realizar recargas de bateria de dispositivos eletrônicos. O objetivo do projeto é despertar a comunidade estudantil não apenas aos aspectos tecnológicos relacionados à geração de energia, mas também às questões ambientais, além de incentivar a prática de atividade física e o cuidado com a saúde. Sendo assim, os estudos do sistema em geral foram divididos em cinco subsistemas, sendo o primeiro um conversor de energia, responsável por converter a energia cinética em energia elétrica; o segundo um retificador, cuja função é transformar a corrente alternada em contínua; o terceiro uma bateria, que é capaz de armazenar a energia gerada; o quarto um regulador de tensão abaixador, responsável por regular a tensão da bateria para a tensão convencional de carregadores USB de 5 Volts; e o quinto o circuito monitor de tensão, responsável por indicar o nível de carga da bateria e dos terminais de saída. Para tal, foram realizadas pesquisas que serviram de base para projetar o sistema eletroeletrônico, de modo que o mesmo englobasse componentes com a melhor relação de custo-benefício, eficiência energética e aplicabilidade. Dentre os esforços dedicados ao desenvolvimento do projeto não se inclui a montagem do protótipo, de modo que o foco se dá nos critérios para definição das tecnologias a serem utilizadas nessa montagem.

Palavras-Chaves: Conversão eletromecânica da energia; Geração de energia elétrica; Energia elétrica renovável; Geração de energia em bicicletas fixas; Recarga sustentável.

1. INTRODUÇÃO

Segundo a análise da matriz energética nacional, o Brasil encontra-se em cenário de perspectiva de crescimento e por isso, há uma demanda notória de maior quantidade de opções em recursos energéticos para suprir a necessidade de consumo de energia acarretada pelas mudanças na estrutura econômica do país (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE, 2018).

Em um contexto global, fontes de energia não renováveis são as mais utilizadas, incluindo os combustíveis fósseis e nucleares. Esses contribuem para o aumento significativo da concentração de dióxidos de carbono (CO₂) na atmosfera e por consequência, há um agravamento do Efeito Estufa (ROBERTO, 2009). Tal situação incentiva órgãos públicos e instituições a adotarem medidas que minimizem os impactos ambientais associados ao problema. Desse modo, pesquisas científicas no ramo das fontes renováveis de energia surgem para fomentar o desenvolvimento tecnológico e contribuir significativamente para a descoberta de alternativas em energia limpa (DIAS et al, 2016). Portanto, é desejável que os métodos para gerar energia alternativa sejam renováveis e reduzam ao máximo os impactos ambientais (HUANG & RUST, 2011).

É comum ao se pensar em geração de energia elétrica, ter em mente a imagem de grandes geradores hidrelétricos, nucleares ou mesmo sistemas renováveis, tais como eólicos e fotovoltaicos. No entanto, as tecnologias disponíveis na atualidade possibilitam que pequenos geradores possam estar presentes em equipamentos utilizados dia a dia. Dessa maneira, é possível que um indivíduo produza energia suficiente para alimentar seus próprios equipamentos portáteis, Segundo Barboza:

“A intenção de utilizar materiais de uso rotineiro, proporciona descomplicação técnica diante da incompreensão popular das formas de transformação de energia, podendo servir como incentivo às escolas e comunidade, onde pode-se mostrar a ciência na prática, provocando a curiosidade e o aproveitamento sustentável de energia elétrica (BARBOZA, 2017,p.101).

Aliada às questões ambientais e ao desejo de produção da própria energia, tem-se a necessidade de melhoria contínua da qualidade de vida, que está intimamente relacionada com a prática de atividades físicas que contribuem para a melhoria da saúde física e mental (VIEIRA, 2016).

No ambiente acadêmico e social, o uso de equipamentos eletrônicos (principalmente os *smartphones*) já dividem espaço com a prática de qualquer tarefa rotineira, devido à necessidade pessoal de se manter sempre conectado às diversas atividades diárias relativas ao trabalho, redes sociais, entre outros (OIKAWA, 2014). Por conseguinte, há a necessidade de realizar a recarga de celulares e *tablets* com cada vez mais frequência.

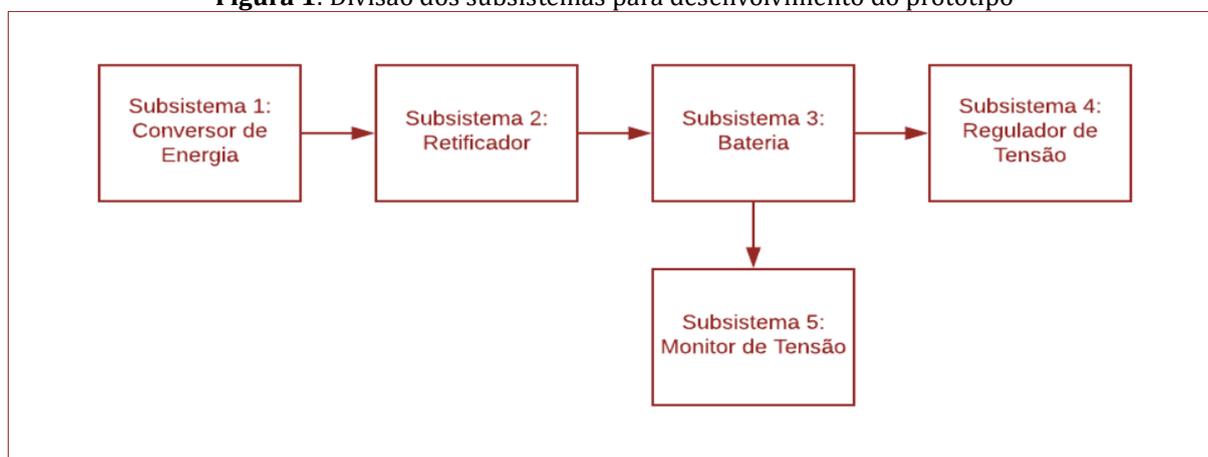
Nesse contexto, pequenas iniciativas são capazes de gerar consciências sociais a respeito de soluções às preocupações ambientais e impactar positivamente um determinado grupo de pessoas. O presente trabalho é parte de um projeto de pesquisa denominado BikeCel que tem como objetivo desenvolver um sistema capaz de gerar energia com o simples ato de pedalar uma bicicleta a fim de recarregar os dispositivos eletrônicos pessoais dos alunos do IFMG - Campus Betim. O mesmo pretende despertar a comunidade estudantil não apenas para aspectos tecnológicos relacionados à geração de energia, mas também para as questões ambientais já mencionadas, além de incentivar a prática de atividade física e o cuidado com a saúde.

2. METODOLOGIA

A metodologia apresentada nesta seção inclui as etapas necessárias ao desenvolvimento do projeto do sistema de geração de energia para recarga de equipamentos eletrônicos em bicicleta fixa. É importante destacar que esse trabalho não se refere à montagem do protótipo, restringindo-se aos critérios de projeto.

O intuito das atividades propostas foi a definição das tecnologias a serem utilizadas na montagem do protótipo. Para isso, foram realizadas pesquisas para levantamento do referencial bibliográfico que serviram de critério de base para projetar o sistema eletroeletrônico.

Para projetar o sistema completo, as pesquisas foram feitas com o propósito de descobrir quais os melhores componentes do projeto, levando-se em conta a melhor relação de custo-benefício, eficiência energética, aplicabilidade e sustentabilidade. Desse modo, os estudos foram divididos por subsistemas conforme figura 1.

Figura 1: Divisão dos subsistemas para desenvolvimento do protótipo

Com o projeto definido, foi elaborado o orçamento de todos os componentes necessários ao sistema, incluindo a própria bicicleta e os componentes eletroeletrônicos essenciais ao projeto.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados e discussões apresentados nesta seção referem-se às conclusões a respeito das tecnologias mais viáveis para cada subsistema, bem como a visualização do protótipo idealizado.

O primeiro subsistema é responsável por converter a energia cinética gerada pelo ato de pedalar em energia elétrica para possibilitar a geração de tensão. Desta forma, foram estudados três possíveis geradores mostrados Na figura 2: Dínamo (Fig. 2a), Turbina Eólica (Fig. 2b) e Alternador Veicular (Fig. 2c).

Figura 2: imagens referente aos três possíveis geradores para a BikeCel: a) dínamo; b) turbina eólica; c) alternador veicular. As imagens foram retiradas do site de vendas *Mercado Livre* ou outros sites sobre bicicletas e conversões de energia e estão referenciadas detalhadamente na Tabela 1.



O dínamo de bicicleta é um dispositivo capaz de gerar corrente elétrica quando seu eixo externo é rotacionado. A corrente elétrica ocorre devido à geração de um campo magnético indutor e pode ser efetuada através de ímãs permanentes (magnetos) ou eletroímãs (bobinas indutoras). Quando o dínamo está em contato com a roda da bicicleta, o seu movimento de rotação é transferido para o eixo do dínamo pelo contato com o pneu. O mesmo possui baixo custo (aproximadamente R\$50,00) e instalação prática. No entanto, sua potência máxima de saída (6 Watts) não é suficiente para aplicação prática, pois uma baixa corrente elétrica exigiria muito tempo de pedalada para realizar uma recarga mínima nos aparelhos, o que poderia acarretar em insatisfação dos usuários. Tendo em vista essa situação, o uso do dínamo como gerador na confecção do sistema não seria viável.

Tanto o gerador eólico quanto o alternador veicular possuem o mesmo princípio eletromagnético e ambos fariam a conversão com o eixo acoplado diretamente na roda, ou seja, sem perdas relevantes de energia

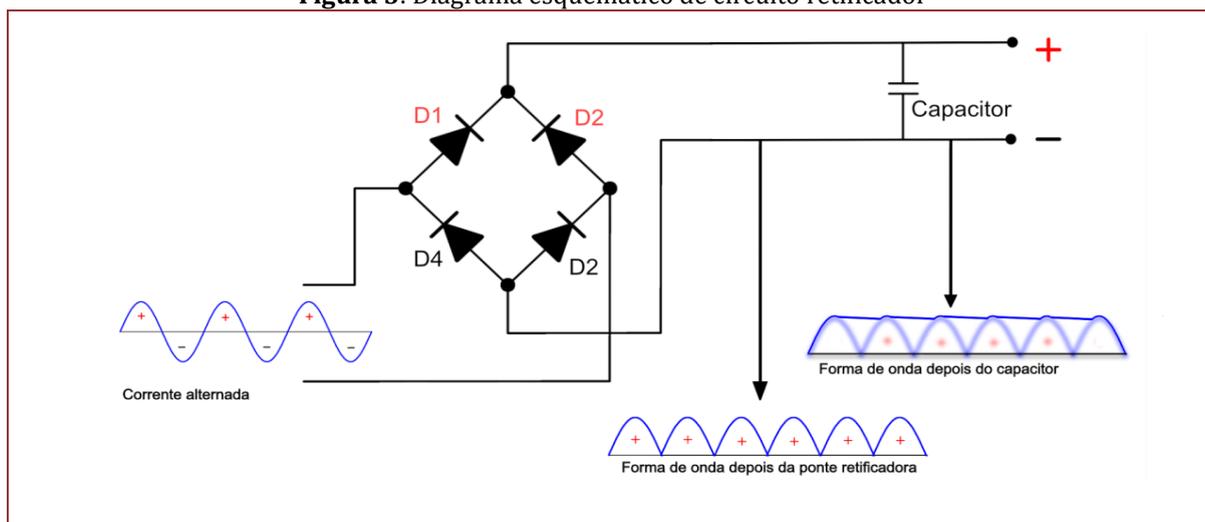
com o atrito. Se encontrada peça usada em bom estado, ambos possuem um custo médio (R\$100 a R\$150) mas se diferenciam nos quesitos de potência e funcionalidades. O gerador eólico consegue fornecer o dobro de corrente elétrica se comparado ao dínamo e o seu uso exigiria a elaboração de um circuito retificador de tensão, pois o mesmo converte energia mecânica em corrente alternada. Já o alternador veicular é mais potente do que os anteriores e possui um retificador incorporado. Desse modo, a escolha do alternador de carro foi definida como a opção mais vantajosa e atrativa. Entretanto, no caso de peça nova, o alternador teria custo bem mais elevado, em torno de R\$ 700.

Tabela 1: Subsistema 1 – Conversores de energia

Ficha técnica	Dínamo	Gerador Eólico	Alternador Automotivo
Características elétricas	Saída CA: 12 Volts / 0,5 Amperes	Saída CA: 12 Volts / 5 Amperes	Saída CC: 12 Volts / 70 Amperes
Custo aproximado:	R\$ 50,00	R\$ 150,00	R\$ 150,00
Acoplamento:	Conversão de energia por atrito	Conversão de energia por atrito ou acoplamento no eixo	Conversão de energia por acoplamento no eixo
Instalação:	Simple	Elaborada	Elaborada
Potência:	Baixa	Média	Alta
Fonte das figuras (2a, 2b e 2c, respectivamente):	https://pedaleria.com/dinamo-bicicleta/	https://produto.mercadolivre.com.br/	https://produto.mercadolivre.com.br/

O segundo subsistema é responsável por converter a energia alternada para contínua, permitindo a passagem de corrente em uma única direção. Visto que o gerador alternador foi a opção escolhida, não foi necessário projetar um circuito retificador, pois o mesmo já se encontra junto ao sistema de conversão eletromecânica da energia. Para intuito de registro, a figura 3 apresenta um possível retificador caso a solução adotada não fosse o alternador.

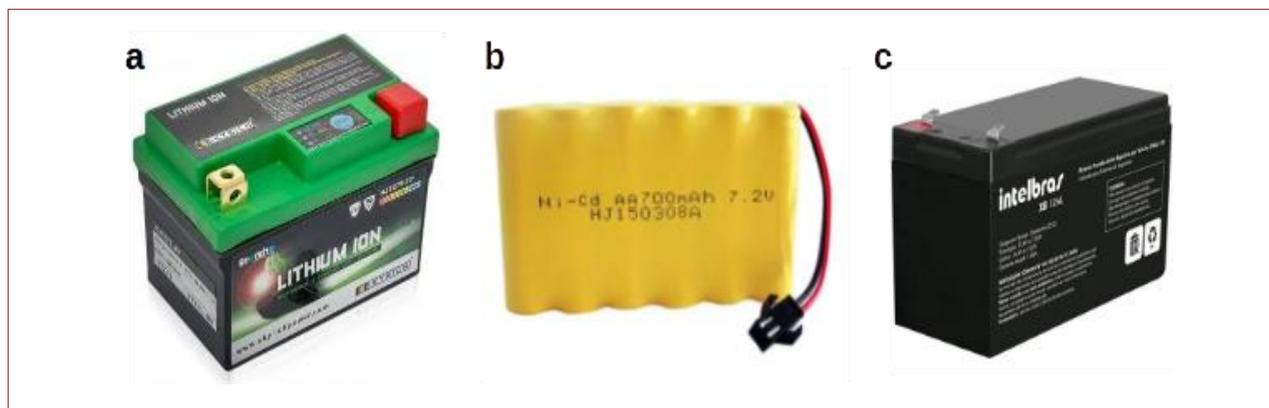
Figura 3: Diagrama esquemático de circuito retificador



Fonte da imagem: <https://www.mundodaeletrica.com.br/diodo-retificador-o-que-e-pra-que-serve/>

O terceiro subsistema é composto por uma bateria. Sua função é armazenar toda a energia gerada na conversão para que a mesma seja consumida no processo de recarga dos aparelhos eletrônicos. Para o comparativo, foram escolhidas três tipos diferentes de baterias diferentes por serem mais comuns no mercado. São elas: Bateria de Íons Lítio, Bateria de Níquel/Cadmio e Bateria de Chumbo/Ácido (Figura 4).

Figura 4: Opções de baterias pesquisadas para fins de armazenamento da energia produzida pelas pedaladas: a) Bateria de Íon Lítio, b) Bateria de Níquel/Cádmio e c) Bateria de Chumbo/Ácido. As imagens foram retiradas de sites de vendas do *Google* estão referenciadas detalhadamente na Tabela 2.



As baterias recarregáveis são ditas como secundárias (BOCCHI et al, 2000) e devido às suas aplicações elétricas, preço e disponibilidade no mercado evidenciados no comparativo da Tabela 2, será utilizada uma bateria de chumbo-ácido.

Tabela 2: Subsistema 3 - Armazenadores de energia

Ficha técnica	Baterias de Íons Lítio	Baterias de Níquel/Cádmio	Baterias de Chumbo/Ácido
Características Gerais	Uso em equipamentos eletrônicos em geral	Uso em carregadores de parafusadeiras e carregadores de baixa potência	Uso em veículos, sistemas industriais e equipamentos em geral.
	Capacidade de 0,2Ah a 10 Ah	Capacidade 0,7 a 3 Ah	Capacidade de 0,2Ah a 70 Ah
	Baixo impacto ambiental	Altíssimo impacto ambiental	Alto Impacto ambiental
Custo aproximado:	acima de R\$380,00	R\$100,00 a R\$400,00	R\$40,00 a R\$120,00
Fonte das figuras (4a, 4b e 4c, respectivamente):	https://www.americanas.com.br/produto/42558317	http://www.valvolandia.com.br/baterias/packs-de-baterias/bateria-7-2v-700mah-ni-cd	https://www.americanas.com.br/produto/4303124246?pfm_carac=bateria-intelbras-12v&pfm_page=search&pfm_pos=grid&pfm_type=search_page&offerId=618bf4dbd9fd6edece41d1c

O quarto subsistema será responsável por regular a tensão da bateria (12 Volts) para a tensão convencional de carregadores com entrada do tipo USB (*Serial Bus*) de 5 Volts. Para isso, com base em pesquisa de mercado, é mais viável financeiramente adquirir um módulo abaixador de tensão chaveada se comparado ao valor para projetar e construir um regulador de tensão chaveada com a mesma potência e efetuar a compra de cada componente eletrônico separadamente. Além disso, o módulo escolhido (Regulador de Tensão Abaixador Buck 300W) possui capacidade de corrente de saída para recarga rápida de até três celulares simultaneamente. A tabela 3 apresenta um comparativo entre as possíveis tecnologias a serem utilizadas.

Figura 5: imagens referente aos possíveis reguladores de Tensão para o quarto subsistema: a) Projeto de Regulador de Tensão Abaixador Chaveado; b) Módulo Regulador de Tensão Abaixador chaveado KIS3R33S; c) Módulo Regulador de Tensão Abaixador chaveado LM2596 e d) Módulo Regulador de Tensão Abaixador Buck 300W. As imagens foram retiradas do *Google* e estão referenciadas detalhadamente na tabela 3.

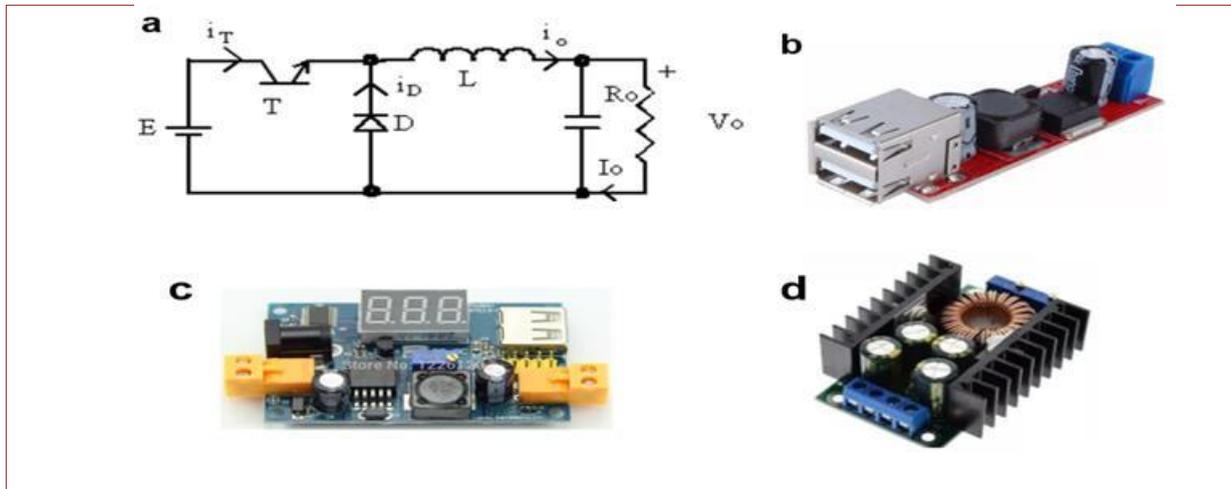


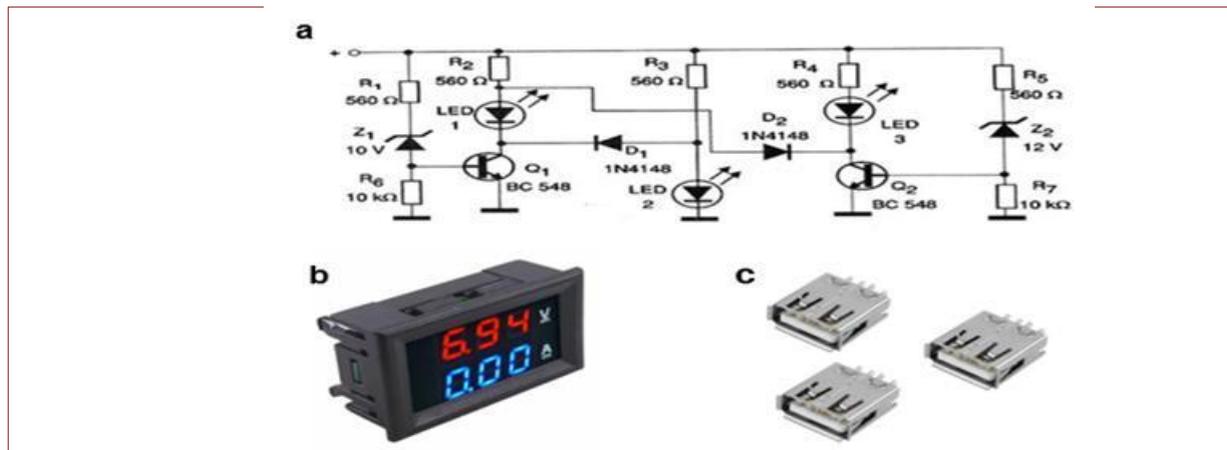
Tabela 3: Subsistema 4 – Regulador de Tensão

Ficha técnica	Projeto de Regulador de Tensão Abaixador Chaveado	Módulo Regulador de Tensão Abaixador chaveado KIS3R33S	Módulo Regulador de Tensão Abaixador chaveado LM2596	Módulo Regulador de Tensão Abaixador Buck 300W
Tensão de entrada:	15 a 25 Volts	7 a 24 Volts	4,5 a 40 Volts	5 a 40 Volts
Tensão de saída:	5 Volts	5 Volts	1,25 a 37 Volts (entrada deve ser 1,5V maior que a saída)	1,25 a 35 Volts (entrada deve ser 1,5V maior que a saída)
Corrente máxima de saída:	5 Amperes	3 Amperes	2 Amperes	9 Amperes
Eficiência de conversão:	Não se aplica	96%	92%	92%
Custo estimado:	R\$ 50,00	R\$ 30,00	R\$ 30,00	R\$ 40,00
Observação:	O circuito seria projetado, testado e seria elaborada sua placa de circuito impresso	Possui conector de entrada USB	Possui circuito de proteção, voltímetro e saída USB	Possui circuito de proteção e é capaz de carregar até três celulares simultaneamente.
Fonte das figuras (5a, 5b, 5c e 5d respectivamente):	https://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/htmlfile/cap3/cap3.html	https://www.usinainfo.com.br/regulador-de-tensao-ajustavel/regulador-de-tensao-5v-usb-dupla-entrada-7-a-24vdc-conversor-step-down-kis3r33s-4761.html	http://www.baudaeletronica.com.br/modulo-regulador-de-tensao-lm2596-com-display.html	https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1935048368-conversor-tensao-dc-dc-step-down-300w-9a-6-40v-p-12-36v-_JM#position=13&search_layout=grid&type=item&t_racking_id=30563aa4-fbf-4e83-bc7b-74b9da150faf

Para o quinto subsistema (Figura 6), será utilizado um módulo voltímetro e amperímetro para indicar a tensão e corrente de saída final e um circuito a transistores com leds para a indicação do nível de carga da bateria. Desse modo, os usuários se sentirão seguros ao conectar seus celulares nas saídas USB (*Universal*

Serial Bus) e ficariam atentos ao nível da carga da bateria, assim evita-se que ela se descarregue completamente e diminua sua vida útil.

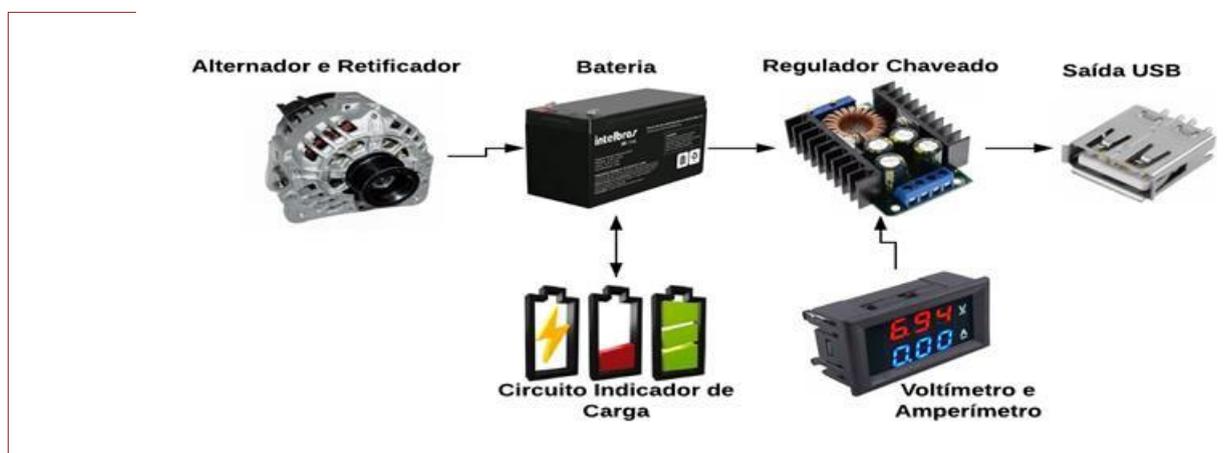
Figura 6: Imagens referentes aos três elementos principais para o diagrama elétrico do quinto subsistema listados a seguir: **a) Circuito Indicador de carga**, **b) Voltímetro e Amperímetro**, **c) Saídas USB**



Fonte: **a) Circuito Indicador de carga:** <https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/projetos/7046-indicador-de-tensao-para-bateria-ou-fonte-art1153.html>; **b) Voltímetro e Amperímetro** (Fonte: <https://www.easytronics.com.br/voltmetro-e-amperimetro-digital-100v-10a>); **c) Saídas USB** Fonte: <https://www.baudaeletronica.com.br/conector-usb-a-femea-180-usb01b.html>

Por fim, definiu-se o esquema eletroeletrônico final pelos seguintes componentes descritos na figura 7.

Figura 7: Esquema eletroeletrônico definido



4. CONCLUSÕES

Após a análise e pesquisa para elaboração do sistema eletroeletrônico foram escolhidos os melhores e mais viáveis subsistemas para o projeto, considerando preços do ano de 2019. Tais definições consideraram os critérios de eficiência energética, custo e aplicabilidade. Assim, o sistema idealizado será composto por um alternador automotivo, uma bateria de chumbo/ácido, um circuito indicador de carga e um circuito com tensão regulada de 5 volts a fim de realizar a recarga dos dispositivos eletrônicos via USB. É importante ressaltar que apesar da bateria de chumbo/ácido apresentar alto impacto ambiental, a mesma é até o momento a opção mais viável financeiramente, sendo que seu manuseio e descarte serão objeto de estudo nas próximas etapas. Na sequência, haverá dedicação aos testes com o alternador e a análise da sua capacidade máxima de fornecimento de energia com o pedalar. Também serão dimensionadas as especificações da bateria. Testes em *protoboard* serão executados, além da elaboração da placa de circuito impresso e organização do cabeamento na estrutura final da bicicleta.

REFERÊNCIAS

- [1] BARBOZA, Guilherme Martins. Desenvolvimento de protótipo de uma bicicleta geradora de energia elétrica. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Energia) - Universidade Federal do Pampa, 2017.
- [2] BOCCHI, Nerilso ; FERRACIN, Luiz Carlos; BIAGGIO, Sonia Regina. Pilhas e Baterias: Funcionamento e Impacto Ambiental. Química e Sociedade, São Carlos - SP, p. 3-9, 11 maio 2000. Disponível em: http://qnint.sbq.org.br/qni/popup_visualizarConceito.php?idConceito=45&semFrame=1. Acesso em: 11 jun. 2019.
- [3] DIAS, Leandro Rosa; LIMA, Gustavo Brito; RODRIGUES, Danilo Borges. Sistema de geração de energia elétrica a partir de uma bicicleta ergométrica. XIV Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica, Uberlândia - MG, p. 1-6, 3 out. 2016. E-book.
- [4] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. Balanço Energético Nacional 2018: Ano base 2017. Rio de Janeiro, 2018. E-book (294 p.).
- [5] HUANG, M-H.; RUST, R. T. Sustainability and consumption. Journal of the Academy of Marketing Science, Taiwan, p. 40-54, 2011. E-book.
- [6] OIKAWA, Erika. Os paradoxos hipermodernos e as tecnologias digitais: reflexões sobre a sociabilidade contemporânea a partir das práticas de “bem-estar”. Sessões do Imaginário– Cinema/ Cibercultura/ Tecnologias da Imagem, v. 18, n. 30, p. 89-96, 2014. Disponível em: <<http://revistaseletronicas.pucrs.br/ojs/index.php/famecos/article/view/14508/11076>>. Acesso em: 28 jun. 2019.
- [7] ROBERTO, Tiago Pereira. Características da Matriz de Geração de Energia Elétrica Brasileira e Fontes Renováveis de Energia. 2009. Trabalho de conclusão de curso. (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade São Francisco, Campinas - SP, 2009. E-book (51 p.).
- [8] STRZELECKI, R.; JARNUT, M.; BENYSEK, G. Exercise bike powered electric generator for fitness club appliances. In: Power Electronics and Applications, European Conference on, IEEE, p. 1-8, 2007.
- [9] VIEIRA, Carlos. Depressão-Doença – O grande mal do século XXI. [S. l.]: Editora Vozes, 2016.

Capítulo 12

Protótipo de sistema móvel para automação da emissão de infrações de trânsito

Letícia Souza Netto Brandi

Bruno Luciano Primesz Lauria

Reginaldo da Silva Leme

Resumo: Os softwares já fazem parte do cotidiano das pessoas, seja no seu uso diário pelo celular, nas agências bancárias, na realização de cirurgias, nos aviões, enfim, em qualquer local sua utilização já é algo comum e parte integrante de nossas vidas. Nos últimos 30 anos a Administração Pública vem passando por uma enorme mudança no que diz respeito à implementação de novas tecnologias, tendo como foco principal fornecer ao cidadão e à administração novas ferramentas para auxiliar nos mais diversos serviços prestados. É por esse contexto que o presente artigo foi pautado, propondo o uso e integração de uma ferramenta tecnológica para aplicação de infrações de trânsito, mediante o uso de dispositivos móveis, propiciando com isso maior controle de cada infração emitida e um armazenamento e organização virtual de todos os documentos elaborados. Este artigo busca ainda, permitir a redução do uso de papel impresso para confecção das infrações, dando maior celeridade ao envio dos dados, mitigando erros de preenchimento manual, permitindo também o envio das infrações através do uso da internet, assegurando maior velocidade na obtenção dos dados pelos órgãos responsáveis pela aplicação da multa aos infratores.

Palavras-Chave: Administração Pública, Governo Eletrônico, Dispositivos Móveis, Agente de Trânsito, Infração de Trânsito.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos 30 anos, a Administração Pública vem passando por uma enorme mudança no que diz respeito ao uso de tecnologias para auxiliar nos mais diversos campos de atuação, tendo como ator principal de todas as ações o cidadão.

Através do Decreto Presidencial de 3 de abril de 2000¹ foi instituído o Programa de Governo Eletrônico do Estado brasileiro, com a finalidade de examinar e propor políticas, diretrizes e normas relacionadas às novas formas eletrônicas de interação.

Apesar de já haver várias ações isoladas na área de serviços ao cidadão oferecidos por meio da Internet, como a entrega de declarações do Imposto de Renda, divulgação de editais de compras governamentais, emissão de certidões de pagamentos e impostos, acompanhamento de processos judiciais e prestação de informações sobre aposentadorias e benefícios da previdência social, entre outros, tal Decreto visou à criação de um portal único de serviços à sociedade. Instituiu-se então o Grupo de Trabalho Interministerial, através da Portaria da Casa Civil nº 23 de 12 de maio de 2000².

O Grupo de Trabalho incorporou metas do programa “Sociedade da Informação”, coordenado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia, para análise e realização de diagnósticos visando à universalização de serviços, governo ao alcance de todos e infraestrutura avançada. A partir daí foram sendo desenvolvidos diversos avanços na execução do programa e novos rumos para o Governo Eletrônico.

As ações do programa de Governo Eletrônico (eGOV) priorizam o uso das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) para democratizar o acesso à informação, visando ampliar o debate e a participação popular na construção das políticas públicas, como também aprimorar a qualidade dos serviços e informações públicas prestadas (Portal Governo Eletrônico, 2015).

A política de Governo Eletrônico do Estado brasileiro segue um conjunto de diretrizes baseadas em três ideias fundamentais: participação cidadã; melhoria do gerenciamento interno do Estado; e integração com parceiros e fornecedores.

Observa-se que o Governo Eletrônico busca fomentar e propiciar ferramentas para integração entre a Administração Pública e o cidadão através de políticas de dados abertos do governo brasileiro, as quais são geridas pelos órgãos governamentais e podem ser acessadas e usadas pelos cidadãos.

Há também o Portal de Serviços do Governo Federal, que é um ambiente centralizador de informações sobre documentos e serviços eletrônicos disponibilizados pelo governo federal com o objetivo de ampliar o acesso aos serviços, estimular a participação e o controle da sociedade e promover a melhoria da qualidade do atendimento prestado.

Destacam-se, ainda, os serviços de licenciamento de veículos e pagamento de Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA), o registro de Boletins de Ocorrência via WEB, oferecido pela Secretaria de Segurança Pública do Estado de São Paulo e, mais recentemente, a possibilidade do contribuinte pagar impostos por meio do Receitanet, disponível no site da Receita Federal³, além de diversas outras ferramentas existentes como: prestação de contas, divulgação de informações e dados referentes às despesas públicas, finanças, orçamentos aprovados, licitações em andamento e contratos em geral.

Conforme relatado, o Governo está sempre em busca de soluções que maximizem e melhorem os serviços prestados através da implantação de novas tecnologias, visando fornecer cada vez mais ferramentas digitais para maior comodidade do cidadão que as utiliza, bem como para a administração pública no quesito transparência e controle dos dados gerados.

Em 15 de janeiro de 2016 foi criada, por meio do Decreto nº 8.638/2016⁴, a Política de Governança Digital no âmbito dos órgãos e das entidades da administração pública federal direta, autárquica e fundacional, visando gerar benefícios para a sociedade mediante o uso da informação e dos recursos de tecnologia da

¹ Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/dnn/2000/Dnn8917.htm>. Acesso em: 27 set. 2016.

² Disponível em: <https://www.governoeletronico.gov.br/documentos-e-arquivos/Portaria_Casa_Civil_da_Presidencia_da_Republica_n23_12_05_2000.pdf/view>. Acesso em: 27 set. 2016.

³ Disponível em: <<https://portal.fazenda.sp.gov.br/servicos/Paginas/catalogo-de-servicos.aspx>>. Acesso em: 27 set. 2016.

⁴ Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2016/decreto/d8638.htm>. Acesso em: 27 set. 2016.

informação e comunicação na prestação de serviços públicos, estimular a participação da sociedade na formulação, na implementação, no monitoramento e na avaliação das políticas públicas e dos serviços públicos disponibilizados em meio digital e assegurar a obtenção de informações pela sociedade, observadas as restrições legalmente previstas.

O decreto instituiu, em seu art. 2º, o termo “governança digital” para referir-se à “utilização pelo setor público de recursos de tecnologia da informação e comunicação com o objetivo de melhorar a disponibilização de informação e a prestação de serviços públicos”, o que, de certa forma, estimula os demais entes do poder público a pensar em soluções pautadas no uso da tecnologia, além de “incentivar a participação da sociedade no processo de tomada de decisão e aprimorar os níveis de responsabilidade, transparência e efetividade do governo”.

Observa-se que, através da governança digital, a Administração Pública vem buscando cada vez mais a aplicação de ferramentas digitais para uso da população. Isso já ocorria no âmbito governamental; contudo, faltava ainda um documento que definisse os próximos passos a serem dados. Para isso, o setor de Tecnologia da Informação e Comunicações (TIC), que produzia estratégias para sua área de atuação, visando promover mais serviços públicos digitais e viabilizando o acesso à informação, criou, pautado no citado decreto, a Estratégia de Governança Digital (EGD), documento esse que definiu então os objetivos estratégicos, metas e indicadores da Política de Governança Digital, composta por três eixos, dez objetivos e cinquenta e uma iniciativas estratégicas, com validade até 2019.

A publicação da EGD se deu por meio da Portaria nº 68, de 8 de março de 2016⁵, que a aprovou para o período 2016-2019 e atribuiu à Secretaria de Tecnologia da Informação a competência para coordenar a formulação, o monitoramento, a avaliação e a revisão da EGD, com participação das demais unidades que atuam como órgão central dos sistemas estruturantes do Poder Executivo Federal.

Sendo assim, pode-se constatar que a Administração Pública vem traçando metas para que todos os setores busquem evoluir cada vez mais no uso de tecnologias voltadas à melhoria no atendimento à população, traçando inclusive metas a serem cumpridas para que isso ocorra de forma sistêmica.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. OBJETIVO GERAL

Este artigo visa beneficiar as esferas Federal, Estaduais e Municipais, através do objetivo geral definido e traçado, buscando desenvolver um aplicativo para automação da aplicação de autuações de infrações de trânsito. Este aplicativo visa propor maior controle de cada infração emitida, gerando o armazenamento e a organização virtual de todos os dados, redução de custos com papéis e pessoal, propiciando, assim, celeridade, controle e maior fidúcia nos dados recebidos.

1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O objetivo específico deste artigo é o desenvolvimento de um sistema voltado para a área da Administração Pública, através do uso de dispositivos móveis para a aplicação de infrações de trânsito por seus respectivos agentes.

São objetivos específicos do aplicativo:

- Consultar dados dos Veículos;
- Consultar dados do Condutor/Proprietário;
- Pesquisar os tipos de infrações existentes no CTB;
- Confeccionar infrações de trânsito;
- Confeccionar o Comprovante de Recolhimento ou Remoção (CRR);
- Emitir o Comprovante de Recolhimento ou Remoção;
- Emitir as infrações confeccionadas para os respectivos autuados;
- Diminuir o tempo da ciência do infrator;

⁵ Disponível em: <<https://www.governoeletronico.gov.br/documentos-e-arquivos/Portaria%2068%20-%20EGD.pdf/view>>. Acesso em: 27 set. 2016.

1.2. JUSTIFICATIVA

Espera-se, por meio do aplicativo, facilitar aos cidadãos o conhecimento de infrações que por ventura tenham sido cometidas, não sendo necessário aguardar o recebimento do documento físico. Além disso, o aplicativo deve minimizar os erros na confecção das infrações, visando sua correta destinação para que sejam convertidas em multas pela autoridade de trânsito, diminuindo os erros no processo de elaboração de uma infração, eliminando, assim, a possibilidade de recursos baseados em erros formais, rasuras e equívocos na interpretação de números e letras.

Um outro aspecto importante a ser levado em conta é a possibilidade futura de integração entre sistemas de informação criminal e o aplicativo, possibilitando uma consulta rápida durante todo o processo de confecção da infração, não havendo a necessidade do uso de outros sistemas ou formas distintas de consulta.

2. METODOLOGIA DE PESQUISA

O método científico de pesquisa é definido, de forma geral, como a ordem que se deve impor aos diferentes processos necessários para atingir um certo fim ou um resultado desejado (Cervo, 2010, p. 27). Para tanto, este artigo teve como corrente de pesquisa a de natureza aplicada, uma vez que foram utilizados os conhecimentos obtidos para solucionar, através de ações concretas, os problemas existentes.

A abordagem qualitativa foi utilizada, visto que sua execução se dá através do uso de textos e imagens, e seus passos são singulares na análise dos dados, valendo-se de diferentes estratégias de investigação (Creswell, 2010, pg.206), o que de fato ocorreu no projeto do artigo em epígrafe.

Desta forma, este artigo foi elaborado com base em dois métodos concomitantes e complementares: a metodologia científica da pesquisa e a metodologia do desenvolvimento.

Com relação à metodologia de pesquisa, empregou-se a revisão bibliográfica, a pesquisa em documentos da administração pública e o estudo de caso.

Na metodologia do desenvolvimento, o sistema foi pautado pelo uso do processo de engenharia de *software Rational Unified Process (RUP)*, através do desenvolvimento dos casos de uso, elaboração dos diagramas de classe e de projeto.

3. METODOLOGIA DO DESENVOLVIMENTO

Esta seção tem como objetivo demonstrar as tecnologias e demais recursos empregados para confecção do sistema, desde seu planejamento e modelagem dos componentes até o seu desenvolvimento.

3.1. PRODUTO COMPUTACIONAL

O objetivo deste artigo foi desenvolver uma parte do sistema *mobile* para aplicação de infrações de trânsito, visando atender às demandas delineadas durante o planejamento do sistema e que serão apresentadas nas seções a seguir.

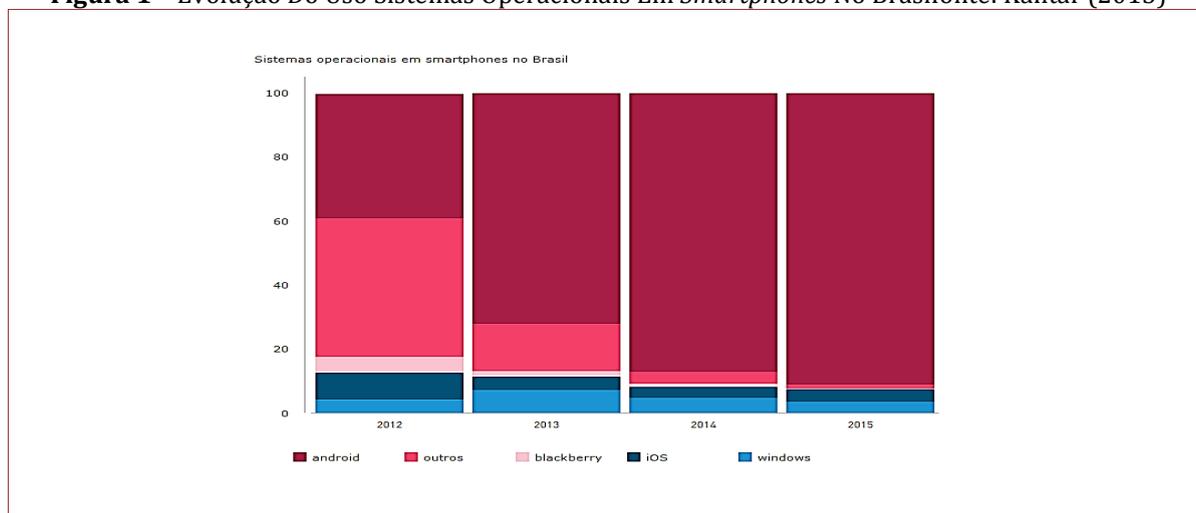
3.2. TÉCNICAS E FERRAMENTAS

Nas seções a seguir são apresentadas as tecnologias utilizadas neste projeto.

3.2.1. ANDROID STUDIO

Como ferramenta de desenvolvimento para dispositivos móveis, utilizou-se a plataforma *Android Studio*, a qual é o Ambiente de Desenvolvimento Integrado IDE (*Integrated Development Environment*) oficial do *Android*. Foi criada pelo próprio Google, e apresentada no Google I/O 2013, tendo sua aplicação baseado no *IntelliJ IDEA* (Android Studio, 2017).

Sua utilização teve por base sua aplicabilidade e usabilidade no cenário atual, uma vez que, conforme publicado pela revista MacMagazine (2015), em estudo realizado pela Kantar, o sistema operacional de maior uso no Brasil é o *Android*, conforme ilustrado na Figura 1, a seguir.

Figura 1 – Evolução Do Uso Sistemas Operacionais Em *Smartphones* No Brasifonte: Kantar (2015)

O Android está presente em 91,8% de todos os celulares, e sua plataforma se destaca pela flexibilidade na criação de modelos de códigos e integração junto ao *GitHub*, além de sua compatibilidade com C++ e NDK e integração com o *Google Cloud Platform*, *Google Cloud Messaging* e *App Engine*.

Abaixo, demonstramos os recursos principais do *Android Studio*, utilizados no decorrer do Sistema, conforme definição apresentada por Lecheta (2016):

Activity: A classe *Activity* representa uma tela de aplicação e é responsável por desenhar a interface gráfica da aplicação.

View: É utilizada como base para os componentes gráficos do sistema.

Thread: Algumas funções exercidas pelo sistema proposto demandam tarefas de I/O, que podem acabar sendo demoradas. Utiliza-se para desvincular tais ações da *Thread* principal, visando com isso evitar problemas de travamento e fechamento forçado.

Intents: São os objetos para troca de mensagens e solicitação de ações a outros componentes do aplicativo.

Services: Componentes para realização de operações em segundo plano sem a interface do usuário.

Notifications: Trata-se de uma mensagem especial que é apresentada na barra de status do *Android* para chamar a atenção do Usuário.

3.2.2. SQLITE

O *SQLite* é uma biblioteca em linguagem C que implementa um banco de dados SQL autônomo, sem servidor, transacional (*SQLite*, 2017). Programas que usam a biblioteca *SQLite* podem ter acesso a banco de dados SQL sem executar um processo SGBD separado.

O *Android* tem suporte ao *SQLite*, e cada aplicação pode criar um ou mais banco de dados, ficando somente visível a aplicação que o criou (Lecheta, 2016, p. 550).

Sua criação pode ser feita de várias formas, entre elas, usando uma API do *Android*, um cliente do *SQLite*, como o *SQLite Expert Personal* ou o aplicativo *sqlite3*, pelo console do emulador.

3.2.3. BACK4APP

O *Back4App* é uma ferramenta baseada na *Web* para manipulação de dados, para criação, hospedagem e gerenciamento de aplicativos usando o servidor *Parse* de código aberto (*Back4App*, 2017).

Tal ferramenta possui um índice de banco de dados inteligente, permitindo a consulta, otimização, *auto-scaling*, backups automatizados e capacidade de armazenamento redundante.

Sua instalação é realizada através da inserção de seu *Parser-SDK* na pasta *lib* do projeto ou adicionando-o no *build.gradle (Module:app)* em suas dependências.

3.2.4. O NINJAMOCK

Um *wireframe* é um guia visual básico de interface de Usuário muito utilizado para se ter um protótipo da estrutura de uma tela.

O *NinjaMock* (<https://ninjamock.com>) foi escolhido por ser uma ferramenta livre que permite ao usuário a criação desses *wireframes*, podendo ser visto como será concebido o aplicativo (NinjaMock, 2017). Destaca-se que o *NinjaMock* fornece *wireframes* voltados especificamente para a plataforma *Android*, sendo muito completo para desenvolvimento de telas *mobile*.

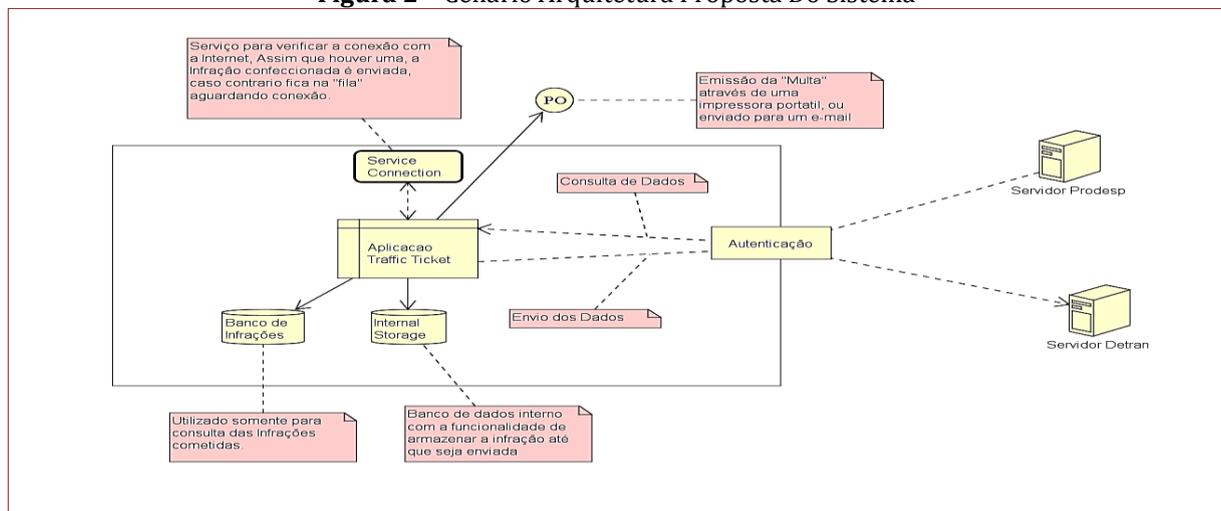
3.3. ARQUITETURA DO SISTEMA

O sistema terá, como uma de suas funções primordiais, a consulta de dados dos veículos e condutores, visando dar celeridade ao preenchimento dos dados e fornecendo, ainda, a consulta da situação criminal do veículo e do condutor/proprietário. Tais dados podem ser obtidos através do sistema de Processamento de Dados do Estado de São Paulo (PRODESP).

Outro comportamento essencial e esperado pela aplicação é o envio das infrações geradas diretamente ao Departamento Estadual de Trânsito (DETRAN), órgão responsável por receber, validar e confeccionar as multas estaduais que serão encaminhadas aos infratores posteriormente.

A seguir apresentamos, na Figura 2, a ilustração do cenário da arquitetura do sistema proposto:

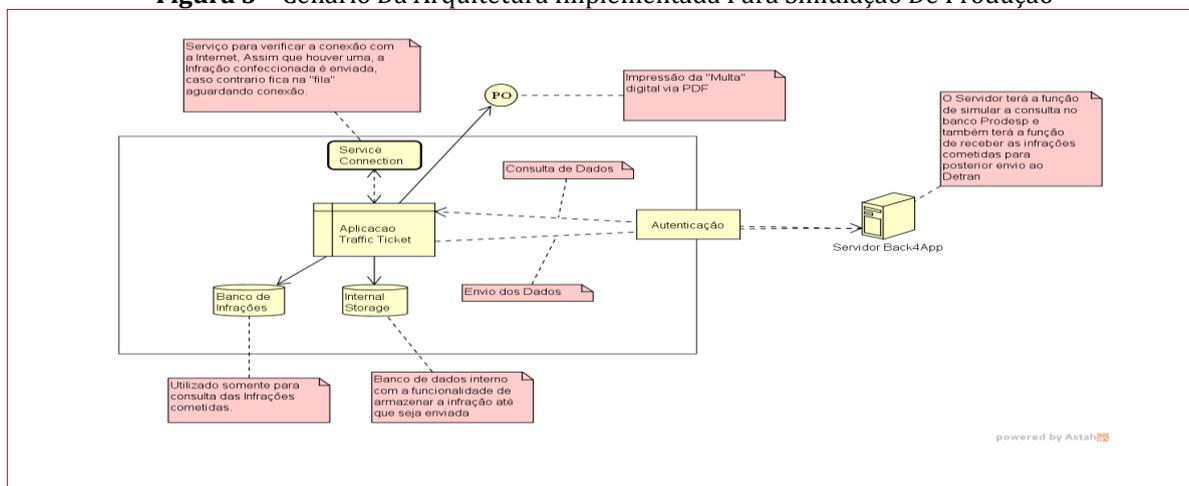
Figura 2 – Cenário Arquitetura Proposta Do Sistema



Fonte: autoria própria.

Uma vez que o cenário acima exposto não foi possível de ser implementado na prática, devido ao acesso às plataformas sugeridas esbarrarem em questões de segurança e tratativas burocráticas, que serão definidas dentro de um contexto futuro, foi criado então um cenário alternativo para testes, afim de simular a interação do sistema desenvolvido com as plataformas sugeridas.

Para demonstrar como seria o comportamento do aplicativo nesse contexto, realizou-se uma simulação, através do uso do *Back4App* que, conforme definido anteriormente, é baseado na *Web* para manipulação de dados, criação, hospedagem e gerenciamento de aplicativos, usando o servidor *Parse*, de código aberto. Nessa plataforma, foram armazenados dados fictícios de pessoas e veículos para teste, demonstrando então, na prática, como o sistema se comportaria ao consultar os dados existentes na PRODESP. A mesma plataforma também foi utilizada para recebimento das infrações que forem emitidas pelo aplicativo, visando demonstrar como seria o envio dos dados ao servidor do DETRAN. A seguir, apresenta-se, na Figura 3, a arquitetura do sistema de teste que foi elaborado.

Figura 3 – Cenário Da Arquitetura Implementada Para Simulação De Produção

Fonte: autoria própria.

No que diz respeito ao aspecto de segurança da aplicação, quanto ao tráfego dos dados entre servidores e cliente, principalmente no recebimento e envio dos dados e autenticação do usuário, utilizar-se-á o *Secure Shell* (SSH), que é um protocolo de rede criptográfico para operações de serviço de rede de forma segura sobre uma rede insegura (SSH, 2017), permitindo, com isso, que todos os dados trafegados estejam criptografados e seguros.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nesta seção apresentamos os resultados obtidos após o desenvolvimento do sistema.

4.1. UTILIZAÇÃO DO SISTEMA E RESULTADOS

Após o encerramento de todas as etapas planejadas, o sistema foi desenvolvido e concluído para apresentação.

Salienta-se que o aplicativo criado reproduz com fidedignidade os passos necessários para confecção de um Auto de Infração de Trânsito, respeitando o regulamentado pelas Portarias que norteiam sua confecção, estando todos eles devidamente divididos em cada bloco dentro da aplicação.

Sua eventual aplicabilidade permitirá a confecção de uma infração de trânsito na forma digital, bem como o acondicionamento dos dados em servidor, o que permitirá o envio dos dados aos órgãos de trânsito de forma mais rápida, visto que, enquanto atualmente os passos desde a confecção da infração até o lançamento dos dados no sistema podem levar até 30 dias, conforme prazo máximo estipulado no Artigo 281, II do Código de Trânsito Brasileiro (CTB), Lei nº 9503 de 23 de setembro de 1997⁶ causando, caso tal prazo seja extrapolado, o arquivamento da infração, tornando seu registro insubsistente. O sistema desenvolvido fará isso logo após o agente finalizar a confecção de uma infração através do envio dos dados ao servidor e posterior ao DETRAN.

A Figura 3 a seguir, apresenta o fluxo manual existente e a forma como será realizado com a implantação do sistema.

⁶ Disponível em: <<https://www.governoeletronico.gov.br/documentos-e-arquivos/Portaria%2068%20-%20EGD.pdf/view>>. Acesso em: 27 set. 2016.

Figura 031 – Fluxo Do Sistema Manual X Sistema Automatizado

Sistema Manual	Confeção Manual da Infração pelo Agente	→	Envio das infrações ao Orgão de Trânsito	→	Preenchimento Manual de cada infração no Sistema do DETRAN	Prazo: 30 dias
Sistema Traffic Ticket	Confeção Automatizada da infração pelo Agente	→	Envio a base de dados do DETRAN		Prazo: Imediatamente após a confeção da infração	

Fonte: Autoria própria

Após o primeiro ciclo de desenvolvimento ter sido completado, permitindo a confecção das infrações e o envio ao servidor, bem como demonstrando a forma como serão realizadas as consultadas dos dados necessários para aplicação de uma infração, pode-se alcançar com êxito o proposto no contexto inicial do artigo.

Vale destacar que o sistema proposto nos levantamentos de requisito e prototipação englobaram o sistema por completo. Devido à sua complexidade e magnitude, algumas funcionalidades serão implementadas em trabalhos futuros. É importante mencionar que será levado a efeito, ainda, a integração de novas tecnologias, buscando agregar maior valor ao aplicativo, permitindo uma experiência focada no usuário e na melhoria do processo como um todo.

Apresentamos a seguir algumas telas desenvolvidas no aplicativo durante a aplicação das etapas de Validações e Testes do Sistema.

Abaixo, apresenta-se o menu principal da aplicação, conforme Figura 04, no qual o usuário poderá iniciar a confecção de uma infração ou consultar um enquadramento, conforme ilustrado a seguir.

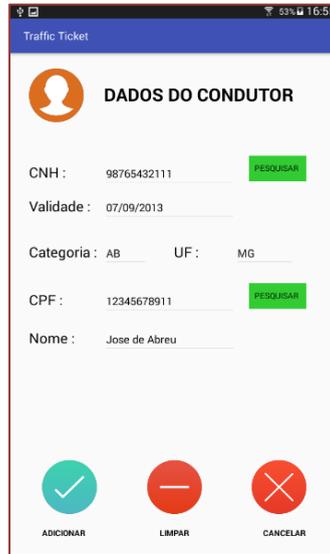
Figura 04 – Menu Principal Do Sistema



Fonte: Autoria própria

Abaixo, na Figura 05, apresenta-se a tela de cadastro das informações do condutor.

Figura 05 – Cadastro do Condutor



Traffic Ticket

DADOS DO CONDUTOR

CNH : 98765432111

Validade : 07/09/2013

Categoria : AB UF : MG

CPF : 12345678911

Nome : Jose de Abreu

Fonte: Autoria Própria

A tela de cadastro do local onde ocorreu a infração é apresentada na Figura 06, a seguir.

Figura 06 – Cadastro do Local



Traffic Ticket

DADOS DO LOCAL

Local : Rua do IFSP

Cod. Municipio : 35 DEFRONTE

Municipio : Bragança Paulista UF : SP

Data : 12052016

Hora : 12:55

2Fonte: Autoria própria

O cadastro das infrações de trânsito é demonstrado na Figura 07, abaixo.

Figura 07 – Cadastro de infrações



Fonte: Autoria própria

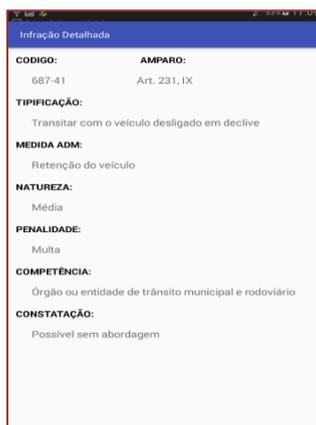
A interface de consulta de infrações é apresentada na Figura 08. Após a consulta, o usuário poderá clicar sobre a infração, onde então consultará o detalhamento da infração conforme a Figura 09.

Figura 08 – Consulta de Infrações I



Fonte: Autoria própria

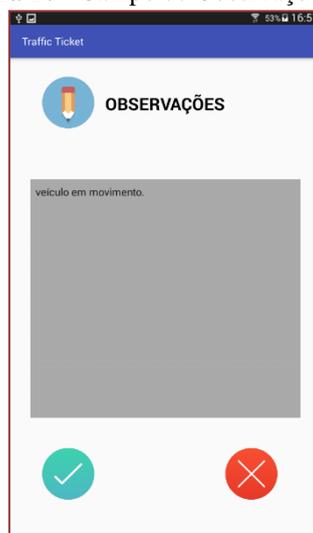
Figura 09 – Consulta de Infrações 2



Fonte: Autoria própria

Por fim, a ilustração apresentada na Figura 10 demonstra o campo de observações acerca das infrações confeccionadas.

Figura 10 - Campo de Observações



Fonte: Autoria própria

5. CONCLUSÃO

Este tópico relata os objetivos propostos e suas conclusões, bem como são definidos os trabalhos futuros, a serem levados a efeito.

5.1. CUMPRIMENTO DOS OBJETIVOS PROPOSTOS

Este artigo teve com premissa gerar um sistema *mobile* para a substituição da aplicação manual, em papel, de Infrações de Trânsito pela forma digital, além de demonstrar a possibilidade de integração do sistema com ferramentas inteligentes de pesquisa criminal e, ainda, o envio dos dados confeccionados eletronicamente, através do uso da internet, ao servidor da aplicação, podendo ser reenviado ao órgão de trânsito competente.

O presente aplicativo está em consonância com a estratégia do governo eletrônico no uso de ferramentas digitais, propiciando a elaboração e o controle digital das infrações que vierem a ser confeccionadas.

Diante do exposto, percebe-se que os objetivos traçados e propostos foram atingidos com êxito.

5.2. RECOMENDAÇÕES FUTUROS

São alguns dos passos futuros a serem lavados a efeito:

- Realizar as tratativas burocráticas com os órgãos competentes para viabilização da implantação do projeto;
- Enviar as infrações por e-mail ou sms, permitindo ao infrator receber as infrações que lhe forem aplicadas;
- Emitir relatórios estatísticos;
- Desenvolver a aplicação das recolhidas de veículo, CNH, CLA e documentos outros, implementando a obrigatoriedade de sua execução de acordo com a infração anteriormente aplicada;
- Desenvolver e integrar as infrações de direção de veículo sob influência de álcool ou substância psicoativa, realizando a integração do sistema com o aparelho de teste de concentração alveolar (Etilômetro), integrando o resultado com o aplicativo;
- Realizar a implementação das infrações que somente podem ser aplicadas quando os veículos/condutores forem abordados, tratando, na aplicação, da permissão ou não para a confecção de tais infrações, bem como impossibilitar a confecção de infrações que o agente não possa confeccionar por questões de convênio ou competência;
- Realizar a implementação da confecção de infrações com veículos em movimento, excetuando-se dados do condutor.

Para terminar, as sugestões apresentadas incentivam a viabilização do governo eletrônico, com enfoque na modernização e agilização dos processos de emissão de autos de infração através da implantação do sistema *Traffic Ticket*.

REFERÊNCIAS

- [1] Android Studio (2017). Introdução ao Android. Recuperado em 12 maio, 2017, de <https://developer.android.com/guide/index.html?hl=pt-br>
- [2] Back4App (2017). About us. Recuperado em 12 maio, 2017, de <https://www.back4app.com/about-us>
- [3] Cervo, A. L. (2010). Metodologia Científica. São Paulo: Person.
- [4] Creswell, J. W. (2010). Projeto de Pesquisa. Porto Alegre: Sage.
- [5] Decreto de 3 de Abril de 2000. (2000). Brasília. Recuperado em 27 setembro, 2016, de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/DNN/2000/Dnn8917.htm
- [6] Decreto nº 8.638/16 de 15 de janeiro de 2016. (2016). Brasília. Recuperado em 27 setembro, 2016, de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2016/decreto/d8638.htm
- [7] Governo Eletrônico (2016). Estratégia de Governança Digital. Recuperado em 28 setembro, 2016, de <http://www.governoeletronico.gov.br/egd/estrategia-de-governanca-digital>
- [8] Kantar (2015). Android é sistema operacional com maior crescimento no país. Recuperado em 07 dezembro, 2016, de <http://br.kantar.com/tecnologia/m%C3%B3vel/2015/agosto-android-%C3%A9-sistema-operacional-com-maior-crescimento-no-pa%C3%ADs>
- [9] Lecheta, R. R. (2016). Google Android: Aprenda a criar aplicações para dispositivos móveis com o Android SDK. São Paulo: Novatec Editora.
- [10] Lei nº9503 de 23 de setembro de 1997. (1997). Código de Trânsito Brasileiro. Brasília. Recuperado em 27 setembro, 2016, http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9503.htm

- [11] Portaria da Casa Civil nº 23 de 24 de março de 2016. (2016). Brasília. Recuperado em 27 setembro, 2016, de https://www.governoeletronico.gov.br/documentos-e-arquivos/Portaria_Casa_Civil_da_Presidencia_da_Republica_n23_12_05_2000.pdf/view
- [12] Portaria nº 68 de 07 de março de 2016. (2016). Recuperado em 28 setembro, 2016, de <https://www.governoeletronico.gov.br/documentos-e-arquivos/Portaria%2068%20-%20EGD.pdf/view>
- [13] Sqlite (2017). About. Recuperado em 12 maio, 2017, de <https://www.sqlite.org/about.html>
- [14] SSH (2017). Communications security. Recuperado em 12 maio, 2017, de <https://www.ssh.com/ssh>

Capítulo 13

Chatbot baseado em rede neural Long Short-Term Memory (LSTM): Um estudo de caso baseado no livro William Shakespeare

Dalcimar Casanova

Vagner Kaefer dos Santos

Vinícius Dalla Corte

Resumo: Chatbots vêm sendo cada vez mais utilizados nos dias de hoje por apresentarem soluções avançadas no campo da inteligência artificial, sendo capazes de oferecer grandes vantagens em aplicações comerciais. O presente artigo tem como objetivo descrever o funcionamento e implementação de um chatbot que utiliza uma rede Long Short-Term Memory (LSTM). No trabalho utilizou-se técnicas de Aprendizado de Máquina e Processamento de Linguagem Natural para demonstrar a rede LSTM que consegue compreender a escrita da língua portuguesa escrita em um livro de contos. Após o treinamento, o chatbot recebe uma frase e continua a sua escrita até um limite de caracteres pré-definido. Obteve-se melhores resultados com cerca de cem até quatrocentas épocas de treinamento, apresentando uma porcentagem de acerto de até 87% em relação à escrita correta da gramática formal.

1. INTRODUÇÃO

Chatbots também conhecidos como agentes conversacionais são programas que buscam comunicar-se com usuários em linguagem natural através da troca de entrada e saída de mensagens em diferentes formas (via texto, voz ou por ambas formas) [Abushawar e Atwell 2015]. Estes programas de diálogo já vêm sendo utilizados em diversas aplicações e cada vez mais despertam o interesse comercial de empresas, seja para automatizar o suporte técnico ou também permitindo uma interação homem-máquina em aplicativos de uma forma mais natural ou para substituir menus por entradas de texto ou voz [Jurafsky and Martin 2009].

A primeira aplicação de chatbot foi desenvolvido por Joseph Weizenbaum no ano de 1966 no MIT, nomeado como ELIZA. Utilizava-se de correspondências entre palavras-chave para simular uma consulta à uma psicóloga através de respostas fornecidas à usuários. Com o avanço das interfaces gráficas e estudos na área de Inteligência Artificial arquiteturas de chatbots foram criadas e otimizadas, desde as mais simples até arquiteturas complexas com níveis avançados de aprendizado de máquina e inteligência artificial [AbuShawar e Atwell 2016].

Os modelos mais simples de chatbots são compostos geralmente por árvores de decisão e utilizam-se de menus, onde o usuário escolhe certa opção (entrada) e o programa retorna uma resposta final (saída). Um segundo modelo de chatbot são baseados em reconhecimentos de palavras-chave, que identificam palavras escritas pelo usuário para retornar certa resposta, errando em alguns casos. Algumas versões híbridas combinam estas duas versões de bots [Comarella e Café 2008]. O terceiro modelo, foco deste trabalho, são os chatbots contextuais. Estes agentes conversacionais fazem o uso de redes neurais em conjunto com técnicas de aprendizado de máquina e inteligência artificial, processando informações de forma recorrente, de modo a serem capazes de aprender dependências ao longo do tempo [Moraes 2017].

2. ARQUITETURA DO AGENTE CONVERSACIONAL

Com o objetivo de estudar e implementar um chatbot que conseguisse aprender e escrever a grafia correta de palavras através do treinamento baseado em caracteres de um texto, posteriormente sendo capaz de gerar a escrita correta das palavras aprendidas, e se possível, manter o contexto do diálogo. Buscou-se na literatura estudar uma rede baseada em inteligência artificial fosse capaz de atender estes requisitos.

Atualmente ainda há uma grande dificuldade de se trabalhar com linguagens naturais pelo fato de existirem diversos fatores momentâneos, sentimentais, ambiguidades e duplos sentidos que dificultam a aprendizagem das máquinas, pois elas precisam entender não somente uma frase específica, mas ter uma forma de entender o enredo do que está acontecendo. Na literatura ainda são poucos trabalhos relacionados com chatbots em português que compreendem problemas complexos no domínio sequencial e temporal de um diálogo. Segundo [Sutskever et al. 2014] é necessário um grande trabalho de engenharia para resolver a limitação do mapeamento e modelagem de uma base de diálogo.

A insuficiência da utilização de redes clássicas como perceptron, perceptron multicamadas ou convolucional se deu pelo fato de não conseguirem levar em consideração uma sequência de fatos ao longo do tempo, em específicos o contexto de caracteres em um texto, pois os mesmos não trabalham de forma recorrente. Redes neurais recorrentes (RNNs) conseguem trabalhar muito bem com sequências (textos, sinais médicos ou áudios) “aprendendo” a dependência em que os dados ocorrem e avaliando-os ao longo do tempo. Esta capacidade se dá pelo fato de existir uma conexão entre suas camadas, permitindo a rede “lembrar-se” de certas informações, atuando bem em problemas de memória a curto prazo. Porém possuem um problema de aprendizado em problemas complexos, dificultando a conexão de informações à medida que precisam se recordar da informação em períodos de tempo muito antigos [Barreto 2002].

Por fim, buscou-se na literatura um modelo de rede neural que seja capaz de lidar com dependências de longo prazo, neste caso longas sequência de palavras. Redes Long Short-Term Memory (LSTM) que são o modelo de escolha deste trabalho, permitem utilizar técnicas de modo a compreender longos textos em linguagem natural, obtendo resultados satisfatórios.

2.1. REDES LONG SHORT-TERM MEMORY (LSTM)

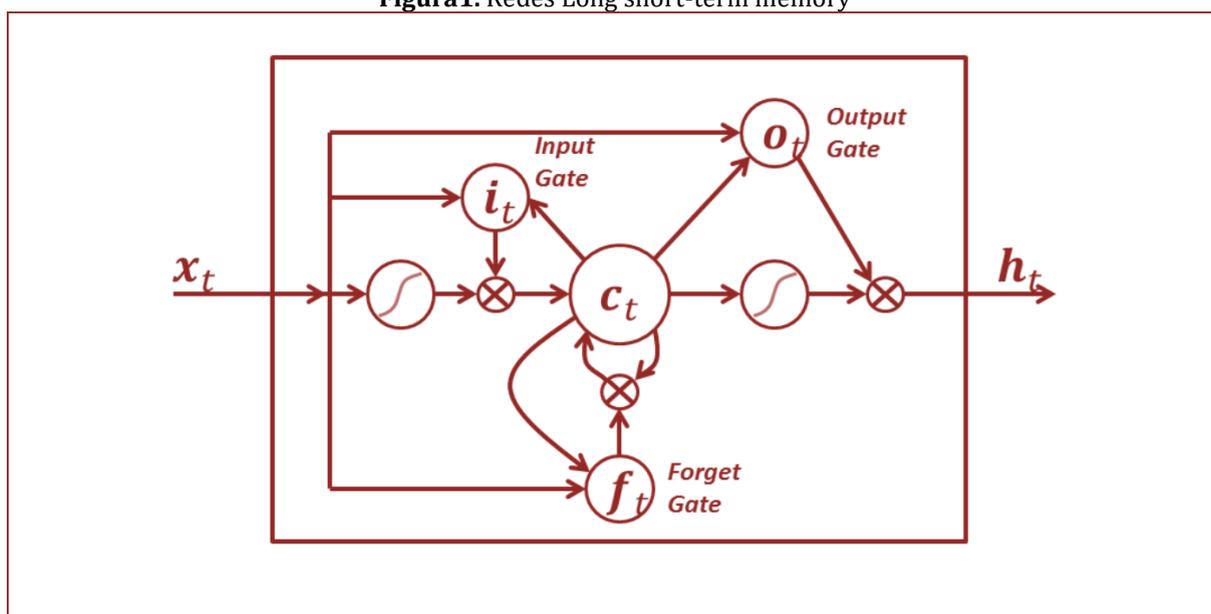
Redes de memória a longo prazo – usualmente conhecidas como “LSTMs” – foram desenvolvidas inicialmente por [Hochreiter & Schmidhuber 1997] com o objetivo de resolver o problema de dependência de longo prazo das redes RNNs. Este problema (conhecido também como *Exploding Gradient* ou *Vanishing*

Gradient) faz com que informações importantes se percam quando a rede lida com grandes sequências de dados. Portanto, as redes LSTM trabalham para recordar a informação por longos períodos de tempo, muito maiores que a RNNs, mesmo com certa limitação [Penha 2018].

A arquitetura de uma LSTM padrão utiliza um mecanismo denominado “células de memória” que permitem que a rede consiga recordar a informação mesmo depois de diversas iterações. Consiste também de válvulas de três unidades multiplicativas: válvula de entrada, válvula de saída e válvula de esquecimento. Estas válvulas têm a função de manter o fluxo do erro constante através de unidades especiais chamadas “*gates*” (portões) permitindo os ajustes de pesos da mesma forma que o truncamento da sequência quando a informação não é necessária, simbolizando um esquecimento [Nelson 2017].

Segundo [Nelson 2017] desde sua criação, este método foi ramificado em diversas variações. Entretanto, quando avaliadas em relação à original por [Greff et al. 2015] demonstrado na Figura 1, nenhuma foi capaz de apresentar nenhuma melhoria considerável em termos de resultados.

Figura1. Redes Long short-term memory



[Greff et al., 2015]

Internamente à rede LSTM cada elemento apresenta sua função, de modo que:

- **Cell State:** Possui a função mais importante no núcleo da LSTM. Permite através de interações lineares que a informações flua através da rede ao longo do tempo.
- **Forget Gate:** Tem a atribuição de decidir se informação que vem do estado anterior vai ser descartada ou mantida.
- **Input Gate:** Possui a capacidade de decidir qual informação que vem da entrada vai ser inserida e combinado com as anteriores.
- **Output Gate:** Determina quais partes serão enviadas à saída.

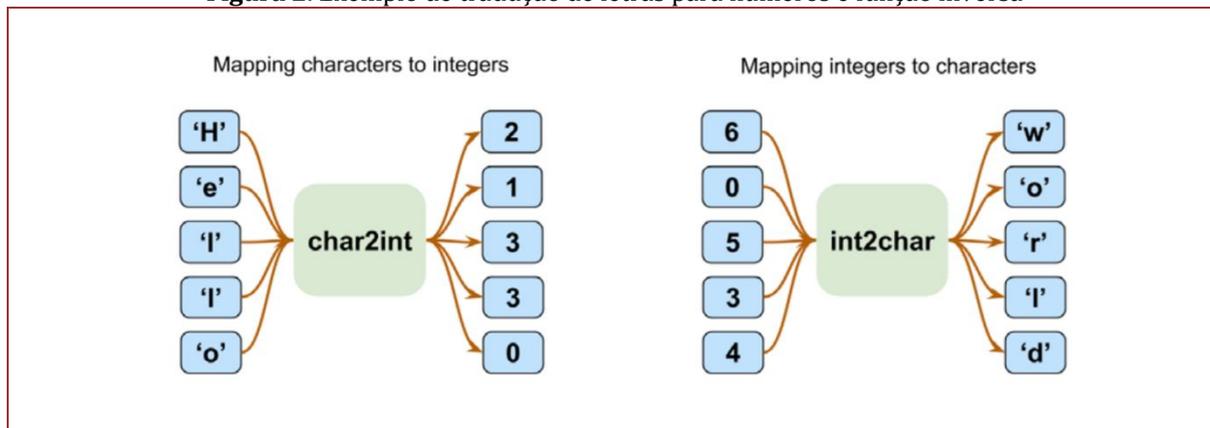
3. CHATBOT BASEADO EM REDE NEURAL RECORRENTE LSTM

O primeiro passo necessário para constituir o chatbot utilizando uma rede LSTM consistiu em mapear a base de dados de treinamento. Este processo teve o intuito de analisar todas as palavras contidas na base e transformá-las uma a uma em um número inteiro, processo este que gerou um mapeamento (dicionário).

A rede neural não interpreta palavras, ela recebe somente a sequência de números que serão aprendidos. Todos os processos de treinamento, testes e resultados foram realizados com números inteiros positivos e somente na etapa final é que esses números foram transformados novamente em palavras, com a

utilização do dicionário. A Figura 2 exibe um exemplo da tradução para números e sua função inversa (utilizada no final de todo processo) para letras.

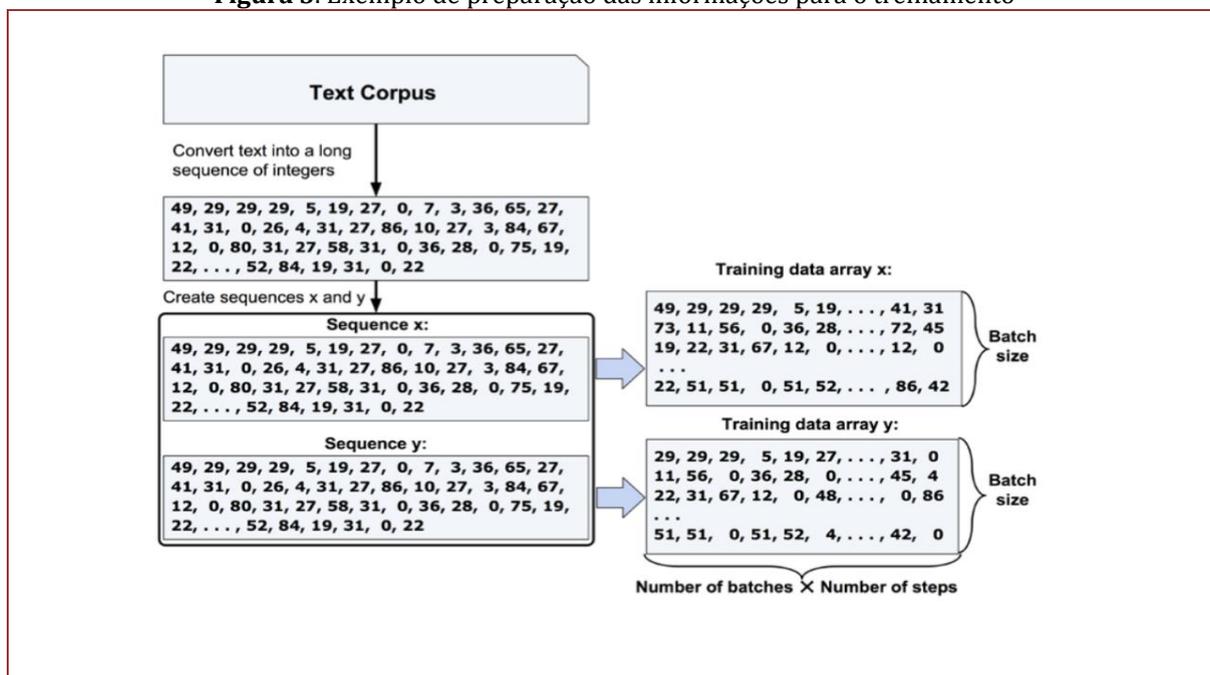
Figura 2. Exemplo de tradução de letras para números e função inversa



[Raschka e Mirjalili et al., 2017]

Após a criação do dicionário de palavras a próxima etapa é realizar o treinamento da rede neural. A preparação da base de treino é realizada da seguinte forma: todo o texto de entrada é percorrido e inserido na matriz de entrada x, ao mesmo tempo o termo seguinte da palavra inserida na matriz x é adicionado na matriz de respostas y. A Figura 3 exibe um exemplo de como este processo é realizado:

Figura 3. Exemplo de preparação das informações para o treinamento



[Raschka e Mirjalili et al., 2017]

Normalmente os chatbots tradicionais recebem uma pergunta e geram certa resposta baseada em seu aprendizado. No caso deste trabalho e de chatbots baseados em livros de história, o mesmo funciona mais como um historiador do que um dialogador. Ele recebe uma frase inicial e irá continuar a frase, gerando uma história baseada com o que aprendeu do livro de treinamento. Portanto, espera-se que o texto gerado pela IA possua um engajamento com as terminologias e conteúdo do livro base.

Ao utilizar essa abordagem, podemos simplificar que possuímos somente uma entrada sequencial de dados. Como trabalhou-se com um livro, a matriz de entrada e resposta possuem valores elevados, para

facilitar o gerenciamento do treinamento, onde o mesmo foi dividido em *batches* (lotes). Assim, a entrada foi dividida em matrizes e treinada em lotes, onde durante o treinamento de cada lote foi criado um checkpoint para continuação futura, em casos de qualquer erro o treinamento não precisa ser reiniciado de sua etapa inicial.

A quantidade de épocas de treinamento é uma das principais variáveis que devem ser configuradas nos algoritmos de treinamento, essa é a variável que define o alcance do nível de inteligência desejado.

Após todos os processos citados anteriormente serem efetuados, selecionou-se uma sequência aleatória de frases do livro de treinamento e em seguida a rede gerou certa continuação daquela frase até um limite de caracteres pré-estabelecidos.

4. EXPERIMENTO

Os algoritmos disponibilizados no capítulo 16 do livro de [Raschka e Mirjalili, 2017] foram utilizados como base para a execução deste trabalho, seguindo os passos e sequência citados no tópico anterior deste artigo.

Como o número de palavras é elevado, foi definido que a entrada seria dividida em 64 lotes, cada um com aproximadamente 2500 termos. Juntamente, foram definidos que a rede neural teria seria treinada com 50, 150, 200, 300, 400 e 500 épocas de treinamento. Para padronização, foram fixadas as seguintes variáveis na implementação da rede neural:

- Tamanho do LSTM: 128
- Camadas da rede neural: 1
- Taxa de aprendizado: 0.001

O texto de treinamento continha ao total 77061 palavras da língua portuguesa, totalizando assim 440178 caracteres. O texto utilizado para treinamento não sofreu qualquer tipo otimização, utilizado o mesmo de forma bruta. Do total de caracteres, se fossem removidos os espaços entre as palavras, teríamos 369013 caracteres para aprendizado. Após o treinamento, foi selecionada de forma aleatória uma frase do livro base, que foi utilizada como a entrada da IA treinada.

5. RESULTADOS

A rede LSTM foi treinada com diversas épocas, de modo que se analisou acertos, erros ortográficos e erros sintáticos de uma saída contendo 3000 caracteres. Também foi possível analisar a porcentagem de acerto, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados do algoritmo LSTM implementado

Épocas	Palavras	Acertos	Erros Ortográficos	Erros Sintáticos	Porcentagem Acerto (%)
50	547	416	131	11	76.05
100	542	457	85	28	84.32
150	550	461	89	30	83.82
200	530	453	77	19	85.47
300	543	472	71	35	86.92
400	525	446	79	3	84.95
500	509	450	88	15	82.71

A partir do comparativo realizado foi possível comprovar que a rede LSTM consegue trabalhar bem para um número grande de épocas, mas até certo limite. Neste caso, para épocas maiores que 500 a rede não apresentou uma melhora significativa, utilizando apenas processamento computacional maior.

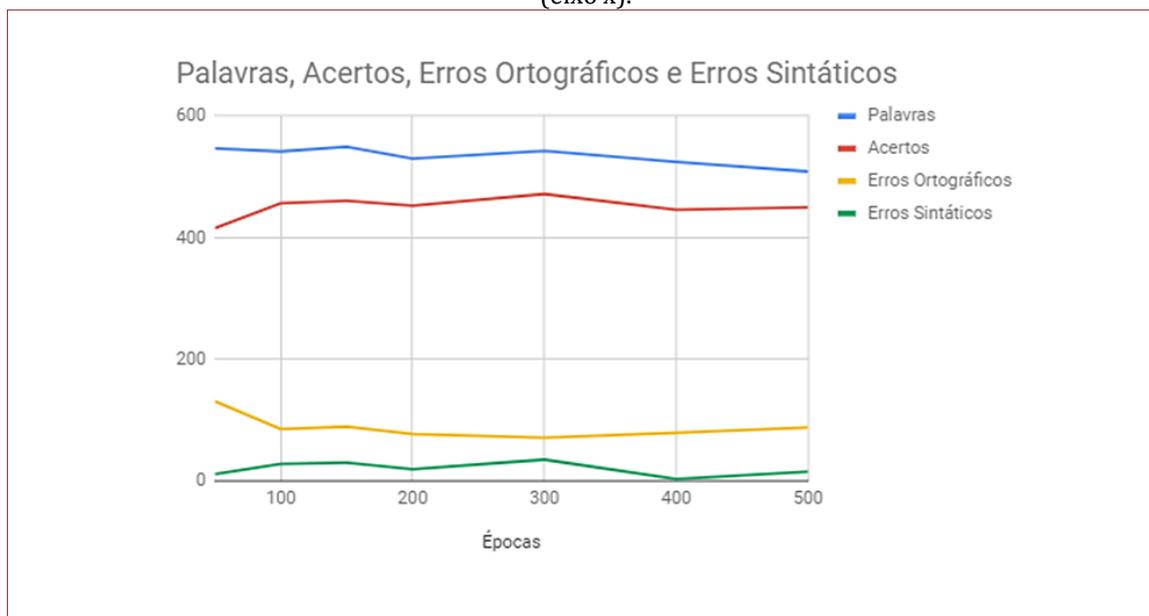
O treinamento foi realizado com a sequência de caracteres, então, em curto prazo, a rede neural deveria aprender a escrever corretamente as palavras e mais longo prazo o contexto e cenário era perdido. Como pode ser visto nas duas saídas abaixo, a rede conseguiu manter uma boa escrita, escrevendo corretamente a grafia das palavras. Porém, as frases não transmitem uma sequência para nós humanos. Trechos de saída gerados:

- “- Nada. Ela entrou para olhos alguns pessoas. Na pessoa deles. A pessoa pessoal de alam e eles possava com a mensagem. Não tinha amigo precesso da expressão de criser ao caso. Nenhum dareiro para o modo certo alguma coisa está parta da pessoa a papelme.”
- “- A mesma caixa da seu arminho a minha corde, alguma corente como este dia até o pessoal. Ele ponsa sobre a mesma cara casa. No seu senhor este depoinde estavam espastos por deixados diferante, para a cabeça ansioso dela?”
- “- O corpe desses pontos do pedido. Agoro, a cortina para acontecido, suficiente no caso no crime para com meia do que acha nar a caminhável que se a percerestar o continio esperando a montada.”
- “- Numa discistão a permonhas. Ela pode sido para sentir as certas a mesma assastir a senhora. A chave dele estava caras, e olharema a mostrar olhar escritório a chegada da mulher e altura ponta pensado que a pouca caminha de sou ou e de casa e como a mais assassinato.”

As palavras em sublinhado representam os termos onde a rede neural cometeu erros ortográficos. Porém, percebe-se que o erro foi de uma letra na maioria dos casos para cada linha.

A Figura 4 exibe um comparativo realizado entre palavras, acertos e erros em diferentes épocas. Verificou-se um bom número de acertos em relação à erros, sejam ortográficos ou sintáticos.

Figura 4. Comparativo exibindo Palavras, Acertos e Erros conforme o número de épocas de treinamento (eixo x).



6. CONCLUSÃO

Em primeira instância a rede neural não reproduziu uma história muito coerente. Em vez de um novo capítulo do livro de Sherlock Holmes, encontrou-se um conjunto de frases que seguem um ritmo contínuo, com pouca coerência.

Porém, ao analisar mais cuidadosamente as frases, é possível ver que a rede neural seguiu a correta escrita da língua. Outro fato interessante é que a rede conseguiu seguir as normas de língua portuguesa quase em sua totalidade, mesmo sem otimizações, a entrada era bruta, com acentos, espaços, caracteres especiais e tudo mais.

Em suma os resultados foram satisfatórios, os autores tiveram um contato mais aprofundado com redes neurais, sendo possível perceber a imensidão da área de inteligência artificial. O mesmo processo empregado neste trabalho pode ser utilizado para diversas aplicações, possibilitando a criação de um chatbot que faz o uso de redes neurais recorrentes, o qual, além de aprender a responder questionamentos, pode possuir uma (ou mais) memórias e seguir um fluxo de informações e contextos.

Trabalhos futuros poderiam incluir mais de um livro, os mesmos sendo de áreas diversas ou em comparativo com diferentes idiomas, utilizando palavras em vez de letras e então verificar como foi o aprendizado em um âmbito mais geral.

As palavras em sublinhado representam os termos onde a rede neural cometeu erros ortográficos. Porém, percebe-se que o erro foi de uma letra na maioria dos casos.

REFERENCES

- [1] B. AbuShawar, E. Atwell, "ALICE Chatbot: Trials and Outputs". *Computación y Sistemas*, vol. 19, no. 4, pp. 625–632, 2015.
- [2] Jurafsky, D. and Martin, J. H. *Speech and Language Processing (2Nd Edition)*. Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ, USA, 2009.
- [3] Bayan AbuShawar and Eric Atwell. Automatic extraction of chatbot training data from natural dialogue corpora. *Workshop on Collecting and Generating Resources for Chatbots and Conversational Agents*, 2016.
- [4] Comarella, Rafaela Lunardi; Café, Lígia Maria Arruda. CHATTERBOT: conceito, características, tipologia e construção. *Informação & Sociedade: Estudos*, v. 18, n. 2, 2008.
- [5] Maeda, A. C.; Moraes, S. M. W. *Chatbot baseado em Deep Learning: um Estudo para Língua Portuguesa*. 2017.
- [6] Sutskever, I., Vinyaks, O., and Le, Q. V. Sequence to sequence learning with neural networks. In *Advances in Neural Information Processing Systems 27*, Z. Ghahramani, M. Welling, C. Cortes, N. D. Lawrence, and K. Q. Weinberger (Eds.). Curran Associates, Inc., pp. 3104–3112, 2014.
- [7] Barreto, Jorge M. Introdução as redes neurais artificiais. V Escola Regional de Informática. Sociedade Brasileira de Computação, Regional Sul, Santa Maria, Florianópolis, Maringá, p. 5-10, 2002.
- [8] Penha, Deyvison de Paiva et al. Rede neural convolucional aplicada à identificação de equipamentos residenciais para sistemas de monitoramento não-intrusivo de carga. 2018.
- [9] Nelson, David Michel Quirino. *Uso de redes neurais recorrentes para previsão de séries temporais financeiras*. 2017.
- [10] Greff, K.; Srivastava, R. K.; Koutník, J.; Steunebrink, B. R. & Schmidhuber, J. (2015). LSTM: A search space odyssey. arXiv preprint arXiv:1503.04069.
- [11] Raschka, Sebastian and Mirjalili, Vahid: *Python Machine Learning*. Packt Publishing Ltd. Second Edition, 2017.

Capítulo 14

Simulação de cenários de IoT focada na segurança residencial e da informação: Revisão da literatura⁷

Ana Paula Medeiros Amarante

Cristhianne de Fátima Linhares de Vasconcelos

Valdemir Praxedes da Silva Neto

Resumo: Este trabalho apresenta uma revisão sistemática da literatura na área de IoT com foco na segurança residencial e da informação. Os dispositivos IoT estão cada vez mais presentes no dia a dia das pessoas, naturalmente os casos de usos deles estão cada vez mais diversificados. A segurança é uma preocupação de qualquer pessoa e é uma das áreas que recebe a atenção da tecnologia IoT, com isso pretender-se investigar as pesquisas atuais na área de segurança residencial e da informação. Para a realização desta revisão definiu-se um protocolo de pesquisa nas bases de dados do Periódicos Capes, o *Web of Science Researchgate*. Baseados nos critérios de inclusão definidos, foram selecionados 31 artigos para composição do portfólio de análise. Os resultados obtidos indicam que a temática da segurança é um tema bastante relevante e atual, tendo motivado a realização de muitas pesquisas na atualidade. O estabelecimento de estratégias e procedimentos de simulação são primordiais para que se aumente a confiabilidade, eficiência e eficácia dos dispositivos em pleno funcionamento.

Palavras-chave: Internet das Coisas, segurança da informação, segurança residencial, simulação.

⁷ Apresentado no Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC – 15 a 17 de setembro de 2021.

1. INTRODUÇÃO

Hoje vivemos em uma época de tecnologia crescente aplicada aos mais diversos dispositivos em nosso dia a dia, com isso temos cada vez mais presente e necessário o uso da Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT). Segundo Bawa e Selby (2018), a Internet das Coisas (IoT) foi descrita como uma rede mundial capaz de conectar objetos endereçáveis por meio de protocolos de comunicações padronizados. Esses objetos podem ser acessados de qualquer lugar, em qualquer momento e os dados gerados por esses objetos serão compartilhados na rede permitindo a interação entre os objetos e seus dados.

Uma das provas do grande aumento de IoT na atualidade é que a próxima geração de sistema de comunicações móveis, 5G (Quinta Geração), apresenta uma frente voltada para os dispositivos IoT, o *massive Machine Type Communications* (mMTC). A modelagem do mMTC é desafiadora pois é diferente dos modelos atuais de comunicação, já que vai trazer um número significativo de novos dispositivos que tem uma restrição de energia. Conforme afirmam Dutkiewicz *et al.* (2017), esses dispositivos podem transmitir em intervalos desregulados, com atrasos e com o volume de tráfego irregular. Devido ao padrão de tráfego heterogêneo a alocação de recursos se torna muito desafiador.

Naturalmente, com o grande aumento dos dispositivos IoT, cresce também a busca e a necessidade de uma vida com mais comodidades, automatizações, aplicações e usos para esses dispositivos. Alinhado a isso, desde o ano de 2020 a maior parte da população brasileira e mundial passou a viver a maior parte do tempo nas suas casas devido a pandemia do Covid-19, atualmente muitas pessoas ainda estão trabalhando e estudando nesse local. Logo, a casa passou a ser ainda mais um ambiente com foco em automatização e fluxo de informações por meio de dispositivos IoT.

A segurança é um fator crucial para qualquer ser humano em qualquer lugar do mundo, sendo cada vez intensa a necessidade de dispositivos para segurança residencial. Vale destacar que segurança neste caso se refere a segurança por meio de monitoramento, alarme e proteção física, além de englobar segurança da informação visto que caso uma rede de IoT venha a ser invadida por pessoas mal intencionadas, todo o controle dos itens citados anteriormente passará ao domínio dos invasores, podendo causar inúmeros prejuízos (Pirbhulal, 2017).

Com a necessidade de dispositivos IoT bem definidas, agora é hora de entender como explorar essa tecnologia, por meio da prototipagem em *software* antes da implementação de fato. Uma ferramenta possível é o *software* de simulação de redes Cisco Packet Tracer por se tratar de ser *open source*, e oferecer uma gama de simulações com IoT, incluindo todos os dispositivos necessários a implementação de um sistema IoT residencial, dentre outros. Nesta perspectiva, verifica-se a necessidade de se mapear os estudos da atualidade relacionados ao tema, visando levantar todo o embasamento teórico necessário a estabelecer procedimentos de prototipagem em *software* de soluções de redes IoT de implementação residencial, com foco na segurança.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho trata-se de uma pesquisa bibliográfica descritiva, como abordagem quantitativa e qualitativa no que concerne ao tratamento dos dados. O período de realização da busca bibliográfica compreendeu o intervalo entre 20/06/2021 a 18/07/2021, tendo como principais bases de busca o Portal Capes, *Web of Science* e *Researchgate*. Foram utilizadas as seguintes palavras chaves: IoT, Packet Tracer, *Automation*, *Python*. Visando obter um resultado mais específico, compreendendo o protocolo de busca definido, a partir das palavras chaves previamente fixadas, foram determinadas as seguintes expressões booleanas para refino da pesquisa: IoT AND Packet Tracer; IoT AND Python; IoT AND automation; IoT AND (Packet Tracer OR automation); IoT AND (Packet Tracer OR Python).

Como critério de inclusão de documentos nesta revisão sistemática foram incluídos artigos publicados em periódicos entre 2016 e 2021, uma vez que os últimos 5 anos foi o período em que houve a difusão de prototipagem em *software* envolvendo IoT no Packet Tracer com alguns deles contando com modificações extras por meio da linguagem *Python*. O critério de exclusão foram artigos anteriores aos últimos 5 anos e que não fossem em inglês ou português.

A definição de qualidade / pertinência se deu com a realização de perguntas que tiveram como resposta de Sim ou Não. As perguntas foram realizadas a partir da leitura prévia do título, resumo e palavras-chave dos artigos analisados. Os artigos considerados como pertinentes foram os que tiveram sim para as questões seguintes: 1 - O estudo aborda pelo menos dois dos três subtemas da revisão sistemática? 2 - O estudo aborda um dos subtemas de maneira profunda? 3 - O estudo aborda uma lacuna que os demais artigos não

abordaram? 4 - É mostrado algum experimento que possa ajudar nos meus objetivos? e 5 - Essas foram as considerações feitas nesta etapa de procedimentos metodológicos.

Para cada documento selecionado, foi realizada uma leitura prévia e breve fichamento dos mesmos, com intuito de extrair informações principais quanto aos estudos realizados, assim como o atendimento aos critérios de qualidade estabelecidos de no protocolo de busca.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processo de busca resultou em 31 artigos, considerados para fins desta revisão. Conforme pode ser visto na Tabela 1, nos últimos cinco anos foi uma constante a quantidade de publicações relacionadas a temática desta revisão. Cumpre-se salientar que o avanço dessas publicações acompanha, às demandas dos usuários por mais serviços que permitam melhorar a qualidade de vida e promover ganhos de eficiência em processos, por meio da implementação de soluções de IoT.

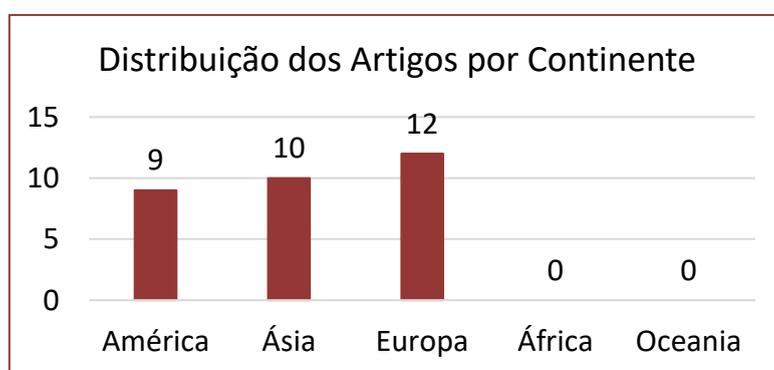
Tabela 1. Distribuição dos artigos por ano

Ano	Quantidade de Periódicos
2016	1
2017	4
2018	9
2019	3
2020	8
2021	6

Analisando-se os artigos do espaço amostral dessa revisão, verificou-se que as palavras chaves que apresentaram maior recorrência foram “*clustering*”, “*data collection*”, “*energy consumption*”, “*optimization*”, “*simulation and experimente*”, “*smart node*”, “*internet*”, “*IoT*”, “*mobile application*”, “*open source*”, e “*RFID*”.

A Figura 1 mostra a distribuição das publicações por localização geográfica. Pode-se verificar que aproximadamente 38,71% (n=12) das publicações foram realizadas por instituições europeias; 32,26% (n=10) por instituições asiáticas e 29,03%(n=9) por instituições americanas.

Figura 1. Distribuição dos artigos por continente



É importante destacar que dentre as 9 publicações do continente americano, 88,89% (n=8) foram publicadas por instituições dos Estados Unidos e 11,11% (n=1) por instituição brasileira. Justifica-se pelo fato de que o Estados Unidos é uma das maiores potências produtora no mundo, estimulada pelos grandes avanços na indústria e investimentos em educação. Vale salientar ainda, a necessidade de avanços de pesquisas nessa área no Brasil, sobretudo depois do ano de 2019 em que foi publicado pelo Governo Federal o Plano Nacional de Internet das Coisas, visando avanços nacionais nessa área.

Em relação às áreas temáticas de publicação dos periódicos, 2 artigos foram excluídos por serem de conferências. Dentro no novo espaço amostral (N=29), pode-se afirmar que 62,06% (n=18) foram publicados em periódicos da área de Engenharia e Ciências da Computação; 34,74% (n=10) em periódicos de Engenharia Elétrica e Engenharia de Telecomunicações e 3,44% (n=1) publicados em periódicos de área multidisciplinar.

Dentro o portfólio elencado nesta revisão, alguns artigos merecem destaque pela abordagem dada ao tema. Finardi (2018) aborda a história e evolução de IoT, bem como definições e conceitos essenciais. Além disso, é feito um *overview* sobre as principais tecnologias de rede envolvendo IoT, como LoRaWAN, SigFox e Narrowband-IoT. Em relação aos aspectos de implementação de simulação, apresenta um tutorial sobre o Cisco Packet Tracer como ferramenta de simulação de cenários IoT com foco na segurança, ressaltando pontos positivos do uso deste *software*.

Al-Joboury e Al-Hemiary (2018) definem termos como *Radio Frequency Identification* (RFID), *Global Positioning System* (GPS) e *Wireless Body Area Network* (WBAN) que foram tecnologias que evoluíram como sensores que auxiliam no controle e monitoramento da saúde das mais diversas formas. Neste estudo é possível entender como a camada de rede inclui todos os dispositivos e protocolos de roteamento e comutação para encaminhar dados da camada de percepção para outra rede. Aplicando a uma situação de um hospital, a família de um paciente poderia saber seu estado em tempo real mesmo em uma distante do hospital. A camada de aplicação representa o gerenciamento, monitoramento e tomada de decisão, que é alimentada pelos dados que são coletados do paciente. Esses conceitos de gerenciamento, monitoramento, auto decisões e notificações foram aplicados no campo da saúde, porém os mesmos conceitos podem ser aplicados ao campo de segurança residencial.

Segundo Naik e Patel (2018) abordam a temática de IoT voltada como uma solução *web*, sendo um sistema completamente *web* e *open source*; apresentando uma aplicação móvel e a implementação de todo o sistema. O sistema desenvolvido foi testado durante alguns meses e os resultados foram comparados com outras soluções disponíveis no mercado atualmente, a conclusão foi que a aplicação mostrou vantagens nos quesitos de custo-benefício, ser *open source*, energeticamente eficiente, confiável e escalável.

Chaudhari *et al.* (2020) justificam o uso do Packet Tracer como ferramenta de simulação de redes IoT; por ser de caráter *open source* para a comunidade estudantil, ter um vasto número de dispositivos IoT que já vem no *software built-in* e permitir modificações nesses dispositivos por meio de linguagem de programação. No trabalho desenvolvido, a segurança da informação é tratada no roteador sem fio, com configurações no *Service Set Identifier* (SSID), que é o nome da rede *Wireless Fidelity* (Wi-Fi) e diferentes protocolos de criptografia e segurança para rede sem fio como WPA2 / WEP / WPAPSK. Segundo Chaudhari *et al.* (2020) nome de usuário e senha diferentes de alguns dispositivos IoT devem ser implementados para reforçar a segurança.

4. CONCLUSÃO

Pesquisas relacionadas à simulação de cenários IoT, utilizando *softwares open source* tem sido fortemente realizada nos últimos anos. Motivados pela crescente demanda por parte dos usuários de soluções de automação baseadas em IoT, é notório o grande número de publicações tanto na área de Engenharia Elétrica; Engenharia de Telecomunicações e Computação relacionadas a temática da IoT com foco na segurança.

No período analisado, pode-se perceber pico de publicação nos anos de 2018 e 2020; não obstante, no ano de 2021 que ainda está em curso até a data em que a busca foi realizada um número de 6 artigos já haviam sido publicados, evidenciando a relevância e atualização do tema perante a comunidade científica. Verifica-se a necessidade de avançar no Brasil as pesquisas referentes à temática do IoT com foco na segurança, sobretudo com o advento do Plano Nacional de Internet das Coisas que visa implementar e desenvolver a Internet das Coisas no País.

REFERÊNCIAS

- [1] Al-Joboury, I. M.; Al-Hemiary, E. H. Internet of things architecture based cloud for healthcare. *Iraqi Journal of Information & Communications Technology*, v. 1, p. 2, 2018.
- [2] Bawa, A.; Selby, M. L. Design and simulation of the internet of things for accra smart city. *International Institute for Science, Technology and Education academic journals*, v. 8, n. 1, p. 1, 2018.
- [3] Chaudhari, R. R. et al. Smart and secure home using iot simulations with cisco packet tracer. *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology*, v. 3, p. 5, 2020. 1.
- [4] Dutkiewicz, E. et al. Massive machine-type communications. *IEEE Network*, p. 1, 2017.
- [5] FINARDI, A. Iot simulations with cisco packet tracer. *Helsinki Metropolia University of Applied Sciences*, p. 8,24, 2018.
- [6] Naik, K.; Patel, S. An open source smart home management system based on iot. *Springer Science+Business Media, LLC, part of Springer Nature*, 2018.
- [7] Pirbhulal, S. et al. A novel secure iot-based smart home automation system using awireless sensor network. *Sensors*, p. 4,5, 2017.

Capítulo 15

Redes Neurais Artificiais: Uma visão histórica

Elias José de Rezende Freitas

Samara Silva Santos

Tamires Martins Rezende

Resumo: As Redes Neurais Artificiais (RNAs) são métodos de aprendizado de máquina largamente aplicados na solução de problemas de classificação, regressão, *clustering* (agrupamento). São inspiradas no funcionamento do cérebro humano e tornaram-se mais populares com o grande aumento da capacidade computacional, a partir do início do século XXI, o que fez com que muitas pesquisas surgissem na área da Engenharia nessa temática. Este trabalho tem como objetivo trazer uma visão geral sobre essa metodologia, destacando especialmente os eventos que possibilitaram a evolução ao que se tem na atualidade, possibilitando uma visão histórica, organizada e ampla do assunto. Para isso, é feito um breve histórico das RNAs, seguido da apresentação de conceitos básicos, de técnicas de aprendizado mais comuns, sendo explicitado o funcionamento dos principais modelos que formam uma base para as redes mais utilizadas atualmente. Ao final, é apresentado um dos desafios da área: a necessidade de explicabilidade dos métodos de inteligência artificial, considerados como uma caixa preta.

Palavras-chave: Redes Neurais Artificiais. Aprendizado de Máquina. Inteligência Artificial.

1. INTRODUÇÃO

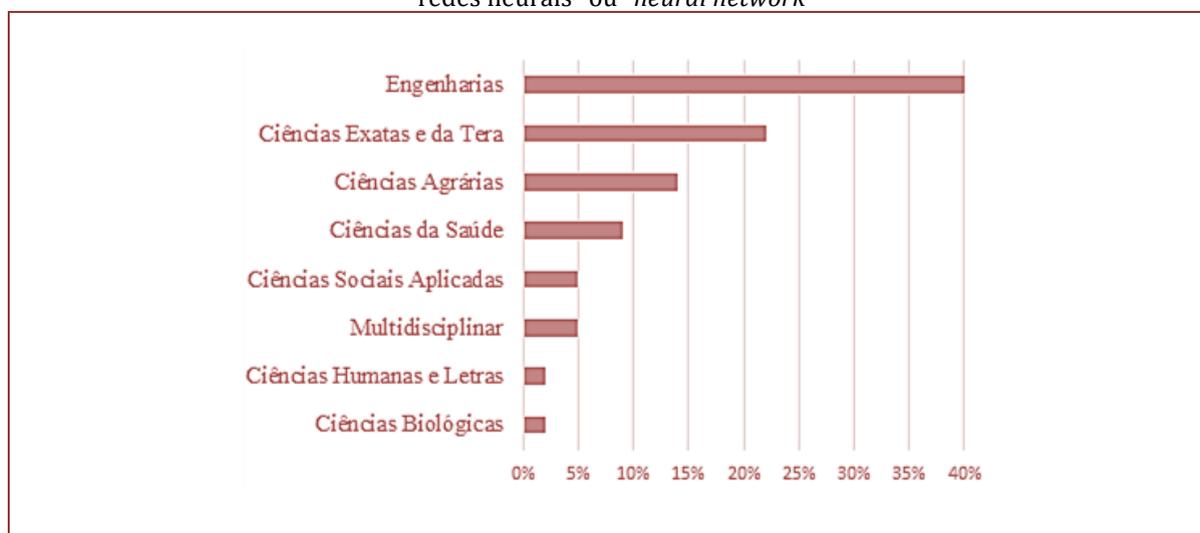
Inteligência Artificial (IA) é uma área que visa estudar e desenvolver técnicas baseadas em lógica para interpretar eventos, apoiar e automatizar decisões/ações (GARTNER, 2021), buscando desenvolver na máquina aptidões naturais do ser humano. Dentre essas ferramentas, as Redes Neurais Artificiais (RNAs) se destacam como um ramo que trabalha com o desenvolvimento de modelos computacionais inspirados no funcionamento do sistema nervoso central humano. De maneira a permitir o aprendizado de uma máquina, tornando-a capaz de realizar tarefas, por exemplo, de reconhecimento de padrões e de características presentes em dados.

Desde que surgiram as RNAs, muitos trabalhos foram propostos com a utilização desta metodologia: Reconhecimento de caligrafia (GRAVES, 2008, 2012; CIRESAN, 2011), de voz (GRAVES, 2013; DAHL, 2011; ABDEL, 2014; HILTON, 2012), predição e diagnóstico de doenças (KHAN, 2001; AYER, 2010; SARITAS, 2019), aplicações no segmento financeiro (ADHIKARI, 2014; ERDOGAN, 2014), além do emprego em áreas comerciais e científicas. De acordo com Badescu (2008), as ferramentas baseadas em RNAs têm se mostrado eficientes, visto que são capazes de lidar com inter-relações não lineares (aproximação de função não linear), dados separados (classificação de dados), relações locais ocultas em grupos de dados (agrupamento) ou na modelagem de sistemas naturais (simulação).

No presente, pode-se citar o trabalho de Wang, Lin e Wong (2020) que apresenta uma RNA denominada Covid-Net para a detecção de casos da doença causada pelo coronavírus, a partir de imagens de raios-x dos pacientes, bem como o trabalho de Wiczorek, Siłka e Woźniak (2020) que detalha um modelo para a previsão da propagação desse vírus SARS-CoV2.

Para ilustrar esse cenário, a Figura 1 apresenta o resultado de uma busca na plataforma Scielo com os termos “redes neurais” ou “neural network”, indicando a abrangência de áreas para sua aplicação, sendo que a área de Engenharia é uma das que possui maior aplicabilidade.

Figura 1 – Porcentagem de artigos por área em uma busca rápida na plataforma Scielo com os termos “redes neurais” ou “neural network”



Fonte: Os autores.

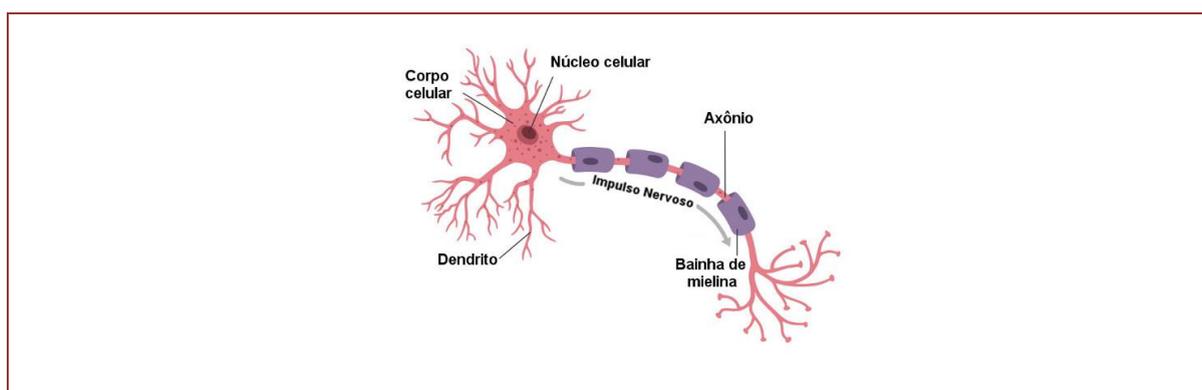
Nesse contexto, Abiodun et al. (2018) realizou um levantamento das aplicações práticas de RNA, incluindo técnicas aplicadas na engenharia, ciência, medicina, agricultura, dentre outras. Já em Chiroma et al. (2018) foi feita uma revisão dos avanços das RNA para análise de Big Data e no trabalho de Zhang et al. (2021) é apresentada uma revisão de pesquisas que buscam a interpretabilidade das redes neurais. No entanto, percebeu-se a necessidade de apresentar, em um mesmo documento, um panorama geral da área, destacando os principais eventos, trabalhos e conceitos que formam uma base para esse campo de pesquisa. Dessa forma, este artigo apresenta o assunto possibilitando uma visão histórica, organizada e ampla.

As próximas seções deste artigo são organizadas como segue. A Seção 2 apresenta uma visão histórica para se chegar aos primeiros modelos de redes neurais. Nas Seções 3 e 4, respectivamente, são elencadas as principais topologias e arquiteturas das RNAs. A Seção 5 é dedicada aos principais algoritmos de aprendizado de RNA e na Seção 6 é descrito alguns dos desafios da área. Por fim, a Seção 7 expõe as conclusões.

2. DA NEUROCIÊNCIA AOS PRIMEIROS MODELOS DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

O cérebro humano possui em média 86 bilhões de neurônios (LENT et al., 2012), organizados em uma rede (o sistema nervoso) capaz, de maneira geral, de receber informações, por exemplo, dos nossos sentidos ou de outro neurônio, por meio dos dendritos, processá-las no corpo celular e transmitir o resultado da combinação dessas informações, por meio do axônio. Na Figura 2 pode-se observar o esquema simplificado de um neurônio multipolar, constituído de vários dendritos.

Figura 2 -Esquema simplificado de um neurônio multipolar



Fonte: Santos (2019).

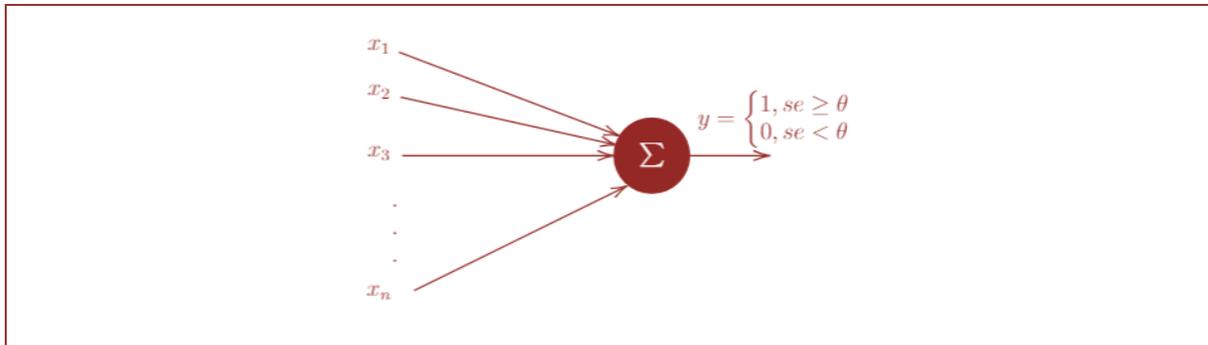
Nas primeiras décadas do século XX, encontra-se vários estudos que buscaram explicar o funcionamento dessa rede de neurônios, formando a base da neurociência moderna. Dentre esses estudos, o trabalho de McCulloch e Pitts (1943) pode ser considerado um marco para a Inteligência Artificial. Esse estudo apresentou o primeiro neurônio artificial, que descreve um modelo de neurônio por meio de uma lógica matemática-computacional, cuja atividade-resposta é binária (*all-or-none*). Além disso, os autores apresentam como essas unidades poderiam construir redes neurais artificiais em uma estrutura fixa, do ponto de vista lógico.

É importante mencionar que nessa época há também uma grande busca por desenvolver mecanismos autônomos. Por exemplo, Turing (1937) propôs o primeiro modelo de uma máquina abstrata (a máquina de Turing), influenciando o trabalho de McCulloch e Pitts (1943), e, em 1948, Turing também propôs um método, chamado de Teste de Turing, para avaliar se as máquinas seriam capazes de “pensar”. Assim, como analisa Kleene (1951), pode-se perceber uma estreita relação que surge entre as redes neurais artificiais com os processos de um autômato finito⁸.

Essa relação fica mais evidente em Von Neumann (1948), onde o autor, em seu trabalho sobre autômatos, faz uma síntese do modelo de neurônio de McCulloch e Pitts (1943): “um neurônio é como uma ‘caixa preta’, com um certo número de entradas que recebem estímulos e uma saída que emite um estímulo”, com base na soma dos impulsos de entrada, o resultado da rede será 0, se o resultado da soma for inferior a um determinado valor de limiar, ou será 1, caso contrário. Essa maneira de ver o neurônio pode ser ilustrada na Figura 3, em que se pode perceber uma clara analogia com o neurônio da Figura 2.

⁸ Autômato finito pode ser descrito como um mecanismo de reconhecimento a partir de lógica de estados.

Figura 3 - Esquema do neurônio artificial proposto por McCulloch e Pitts (1943), com n entradas (x_1, x_2, \dots, x_n) e uma saída binária y



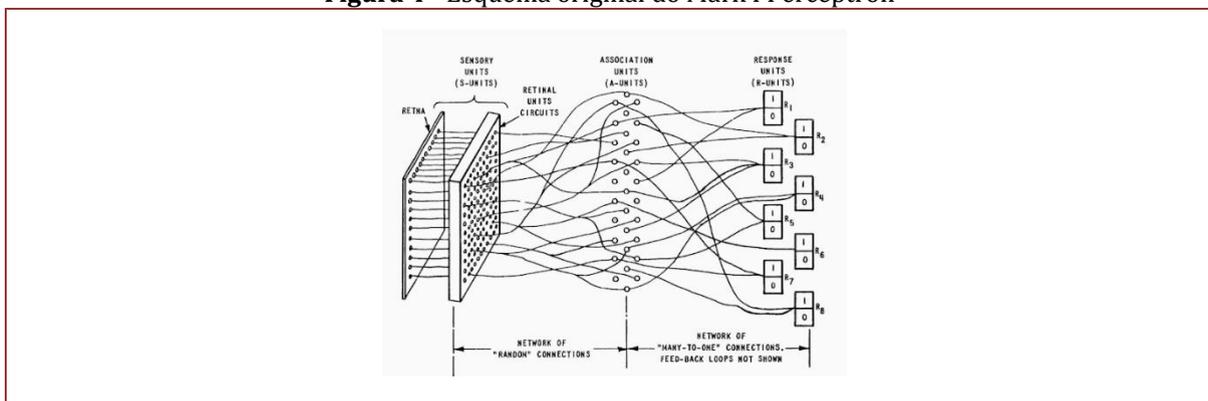
Fonte: McCulloch e Pitts (1943).

Em 1949, Hebb em seu livro intitulado: “*The organization of behavior: a neuropsychological theory*” apresentou uma teoria para explicar como poderia ser descrito o aprendizado de redes neurais, a partir da compreensão que as ligações sinápticas, biologicamente, são reforçadas nos ramos da rede neural que estão ativos (HEBB, 1949).

Nesse contexto, o artigo *The Perceptron: A Perceiving and Recognizing Automaton*, Rosenblatt (1957) introduz o conceito de perceptron. De maneira geral, os Perceptrons são uma classe de modelos cerebrais, capazes de explicar determinados comportamentos cerebrais em termos de regras e leis matemáticas conhecidas, porém não possuem a intenção em si de servir de uma cópia detalhada e fidedigna de todo sistema nervoso real. Assim, Rosenblatt (1961) consegue em seu trabalho unir, na forma matemática, o modelo de neurônio de McCulloch e Pitts (1943) e o trabalho de Hebb (1949).

Na Figura 4 é apresentada o esquema do Perceptron simples utilizado para a criação da primeira máquina de Inteligência Artificial, o Mark I Perceptron, capaz de aprender a classificar padrões binários, com base em certas semelhanças e diferenças geométricas. Note que a topologia proposta para essa máquina é formada por três subunidades (camadas), sendo que a primeira (*Sensory-units*) é responsável por receber os dados externos, possuindo conexões fixas (+1 para sinapses excitatórias e -1 para sinapses inibitórias), fazendo analogia à retina. Já a segunda unidade (*Association-units*) recebe informação da primeira balanceada por pesos ajustáveis (veja a Seção 3) e a terceira unidade (*Response-units*) constitui da combinação matemática das várias características detectadas na camada anterior para gerar a resposta do sistema desenvolvido. Para mais detalhes, veja a gravação feita da apresentação do Mark I Perceptron: https://youtu.be/cNxadbrN_aI.

Figura 4 - Esquema original do Mark I Perceptron



Fonte: Hay et al. (1960).

Ainda na década de 60, Widrow e Hoff (1960) apresentam um modelo de neurônio artificial, chamado de Adaline (*ADaptive Linear NEuron*), implementado por meio de um circuito eletrônico, capaz de possibilitar que um usuário o treine para reconhecer padrões, minimizando os erros de aprendizado, como pode ser visto em: <https://youtu.be/skNlwEbqck>.

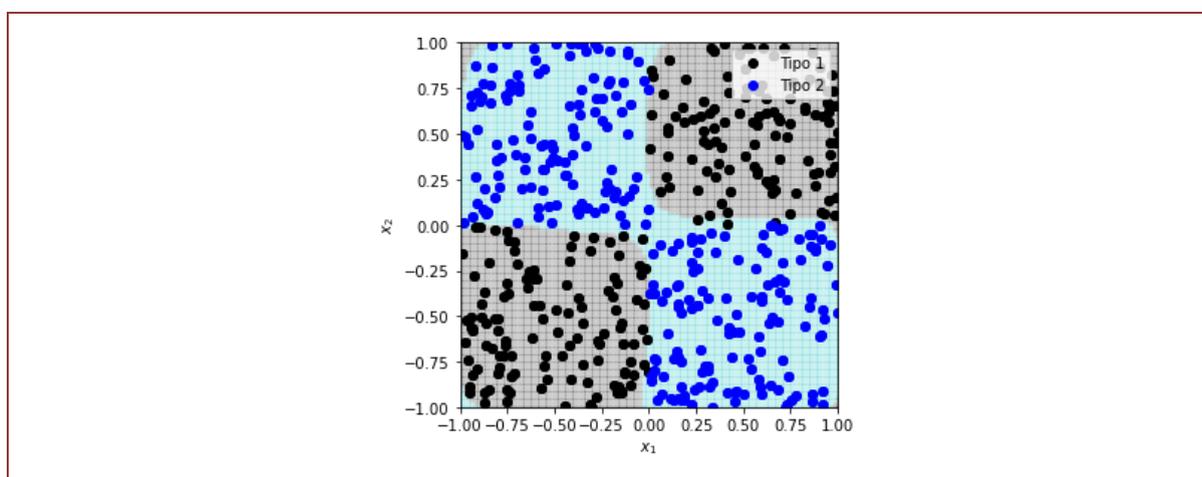
Uma das primeiras utilizações de RNA industrialmente envolveram essa rede, a qual teve aplicação em sistemas de chaveamento de circuitos telefônicos, além de emprego em diversos problemas práticos relacionados a processamento de sinais analógicos (NUNES e DA SILVA, 2017).

Historicamente, a principal contribuição da Adaline, em relação ao Perceptron, está na proposta de aprendizado, já que ambos possuem como limitação a possibilidade de classificar apenas conjuntos linearmente separáveis. Para tal, Cover (1965) apresenta teoremas que validam a utilização de mapeamentos não-lineares, tornando um determinado conjunto de dados linearmente separável.

Na sequência, Minsky e Papert (1969) fazem uma rigorosa crítica matemática aos Perceptrons, apresentando diversos outros limites, dentre eles o fato de que um Perceptron de uma camada não seria capaz de aprender a função ou dados amostrados do tipo OU-Exclusivo (XOR), como mostrado na Figura 5, além de não ser capaz de realizar a classificação em dimensões mais elevadas.

Essas limitações que contrapunham com as reivindicações exageradas do uso do Perceptron, como a capacidade de resolver qualquer problema, juntamente com a dificuldade computacional da época para aplicação dos métodos matemáticos que exigiam maior processamento e até mesmo a relação de Roseblatt com os militares, como indica Van Der Malsburg (1986), produziram, na década de 70, um desinteresse da comunidade científica pelas RNAs, tratadas na teoria dos Perceptrons.

Figura 5 - Conjunto de dados amostrados do tipo Ou-exclusivo, que não são linearmente separáveis. Em destaque, apresenta-se duas possíveis regiões de separação



Fonte: Os autores.

Pode-se dizer que apenas no final da década de 80 há uma retomada de interesse pela área, citando ao menos quatro marcos importantes:

- (i.) avanço computacional digital, como, por exemplo, o início da popularização dos computadores pessoais e o aumento da velocidade dos processadores;
- (ii.) proposições como a de Hopfield (1982) de novas arquiteturas de redes neurais com realimentação e seus desencadeamentos;
- (iii.) desenvolvimento de um algoritmo de treinamento, denominado *backpropagation*, capaz de ajustar os pesos dos neurônios, permitindo, por exemplo, resolver o problema da função OU-Exclusivo, tendo sido popularizada por Rumelhart, Hinton e Williams (1986); e
- (iv.) estudos que permitiram uma melhor formulação matemática das redes neurais e de seus métodos de treinamento, como o trabalho de (CYBENKO, 1989), que apresentou o Teorema da Aproximação Universal: “uma rede neural com uma única camada oculta, contendo um número finito de neurônios pode aproximar funções contínuas em um subconjunto” (tradução do autor), com a utilização de uma função de ativação, por exemplo, sigmoideal: $f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$.

Ademais, outro fator que contribuiu para aumento dos investimentos em pesquisa na área foi a Conferência Conjunta EUA-Japão sobre Redes Neurais Cooperativas/Competitivas em 1982, na qual o Japão anunciou seu esforço de Quinta Geração em RNAs, incitando os EUA a também se preocuparem com

este assunto (CLABAUGH; MYSZEWSKI e PANG, 2000). Na sequência em 1985 e 1987, respectivamente, ocorreram os eventos *Neural Networks for Computing*, pelo instituto Americano de Física, e a primeira Conferência Internacional em Redes Neurais, pela IEEE.

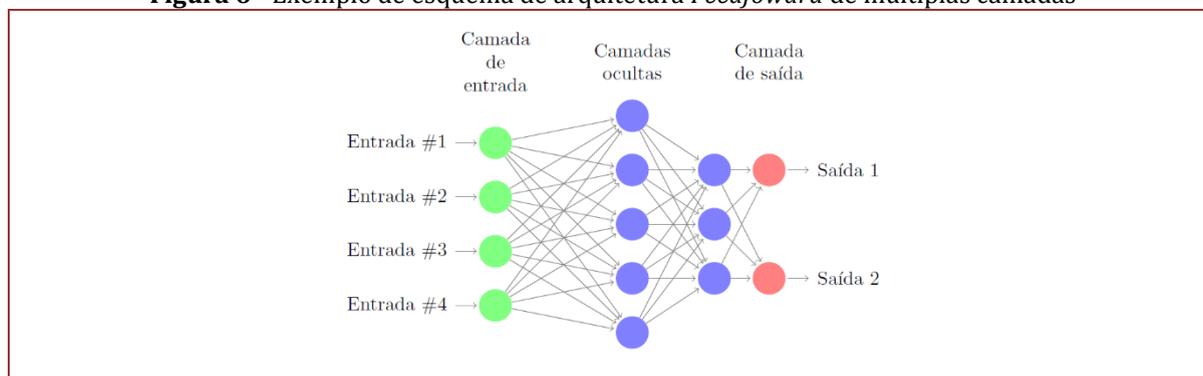
Já na década de 90, outro avanço importante foi a publicação de um *framework* de RNA recorrente, chamado *Long Short-Term Memory* (LSTM) por Schmidhuber e Hochreiter (1997) e a publicação do Aprendizado baseado no Gradiente, aplicado ao reconhecimento dígitos escritos à mão, por Yann LeCun (1998a). Nesse último trabalho, foi utilizado uma RNA do tipo *feedforward* com várias camadas ocultas e com mecanismo *backpropagation*, que posteriormente ficou conhecida como Redes Neurais Convolucionais (CNN).

Além disso, com o avanço do poder computacional e da grande disponibilidade de dados no início do século XXI, a IA, enquanto ciência, e por extensão a RNA, enquanto metodologia, tiveram grandes avanços, especialmente com o desenvolvimento das chamadas RNAs Profundas (Aprendizado Profundo, do inglês, *Deep Learning*), que podem ser consideradas uma evolução dos modelos RNAs pioneiros. Dessa forma, a popularização desses métodos, bem como o aumento do poder computacional para processá-los, possibilitaram grande aplicabilidade, bem como avanços ainda mais promissores do que os outrora relatados.

3. ARQUITETURA DAS RNAs

De maneira geral, uma RNA pode ser vista em camadas: (i) camada de entrada, responsável por receber os dados do meio externo; (ii) camadas ocultas (ou intermediárias ou escondidas), responsável por extrair informações, podendo ser formada por uma ou mais camadas de neurônios e (iii) camada de saída, responsável por produzir os resultados da rede. Na Figura 6 é apresentado um exemplo de arquitetura de rede neural, com uma camada de entrada para 4 entradas, duas camadas ocultas, uma com 5 e outra com 3 neurônios, e uma camada de saída com 2 saídas.

Figura 6 - Exemplo de esquema de arquitetura *Feedforward* de múltiplas camadas



Fonte: Os autores.

Van Veen e Leijnen (2019) apresentam um conjunto de quase 30 diferentes tipos de arquitetura de redes neurais. Dentre essas, destacam-se: (i) *Feedforward*⁹ de única camada; (ii) *Feedforward* de múltiplas camadas; (iii) Redes Neurais Recorrentes. Nas duas primeiras, o fluxo dos dados é unidirecional, seguindo sempre da camada de entrada em direção à camada de saída. Já no caso das redes recorrentes, há uma retropropagação de informação, que permite que o terminal de entrada de um neurônio receba informação da saída de outros da mesma camada ou de uma camada posterior. Em relação às camadas, na arquitetura única, como o próprio nome sugere, há apenas 1 camada de neurônios, como as redes Perceptron e Adaline. Já no caso das redes de múltiplas camadas, como exemplificado na Figura 6, por meio da combinação de Perceptrons, tem-se a rede *Multi-Layer Perceptron* (MLP). Como demonstra Lippmann (1987), uma rede

⁹ Termo que descreve a topologia da rede e é abordado na Seção 4.

contendo ao menos duas camadas ocultas é capaz de classificar padrões que sejam separados também por regiões não-convexas¹⁰.

Outro caso particular é a estrutura das Redes de Funções de Base Radial (RBF - *Radial Basis Function*) em que os parâmetros das camadas ocultas, diferentemente dos Perceptrons, são os parâmetros de uma função radial¹¹, apresentada na Equação (1), em que função mais empregada é a gaussiana e, usualmente, utiliza-se apenas uma camada oculta (Broomhead e Lowe, 1988):

$$h_i(\vec{x}, \vec{c}_i, \sigma_i) = e^{-\frac{\|\vec{x}-\vec{c}_i\|^2}{2\sigma_i^2}}, \quad (1)$$

em que h_i é a saída do neurônio i da camada oculta, \vec{x} é o vetor de entrada dessa camada, e \vec{c}_i e σ_i são os parâmetros a serem treinados na rede, representando, respectivamente, a localização do centro e o raio da função radial, nesse caso um valor fixo. Dessa maneira, a saída da rede será dada pela Equação (2):

$$\vec{y} = \sum_{i=1}^p w_i \cdot h_i(\vec{x}, \vec{c}_i, \sigma_i) + w_0, \quad (2)$$

sendo o vetor de pesos da camada de saída representada por $\vec{w} = [w_0, w_1 \dots w_p]$ e p é o número de neurônios na camada oculta.

Assim como as redes MLP, as redes RBF possuem camadas do tipo *feedforward* não lineares. Enquanto aquelas utilizam hiperplanos para dividir o espaço de entradas, estas utilizam hiper-elipsóides para particionar esse espaço (ROSA, 2001).

Segunda Rosa (2001), algumas diferenças entre essas duas redes podem ser destacadas:

- comumente, as redes RBF possuem somente uma camada oculta;
- nas redes MPLs os nós internos possuem o mesmo modelo neural que os neurônios de saída, enquanto nas redes RBFs o modelo utilizado na camada escondida difere-se do usado na camada de saída;
- nas redes MPLs a saída de todas as camadas é não-lineares, exceto a de entrada, já na RBF a camada oculta é não linear e a camada de saída é linear;
- as redes MPLs, geralmente, requerem menos parâmetros que as RBFs para o mesmo grau de precisão;
- o argumento da função de ativação das redes RBFs recebem a distância euclidiana entre os vetores de entrada e o centro da unidade, enquanto nas redes MLPs calcula-se o produto interno dos vetores de entrada, pelos pesos dos neurônios.

Diferentemente das redes *feedforward*, as redes recorrentes podem ser vistas como uma rede que forma um sistema de realimentação global, de maneira que uma ou mais camadas da rede são envolvidas na realimentação. Um exemplo desse tipo de arquitetura foi proposto inicialmente por Hopfield (1982), no qual utiliza-se apenas uma camada de neurônios totalmente interconectada, como ilustrado na Figura 7, sendo que a saída dessa rede na forma discreta pode ser expressa pela Equação (3):

$$u_j[n] = \sum_{i=1}^k w_{ji} \cdot g(u_j[n-1]) + w_{j0}, \quad (3)$$

¹⁰ Uma região é convexa se para cada par de pontos dentro dessa região, todos os pontos contidos em qualquer segmento de reta formado por esse par também estiverem dentro da região (Da Silva, Spatti e Flauzino, 2020).

¹¹ Uma função de base radial é aquela cujo valor depende da distância entre a entrada e algum ponto fixo, apresentando um mínimo/máximo e simetria.

onde w_{ji} é o peso sináptico do j -ésimo neurônio conectado ao i -ésimo neurônio, w_{j0} é o limiar do j -ésimo neurônio e $g(\cdot)$ é a função de ativação que é aplicada a saída de cada neurônio no instante discreto n .

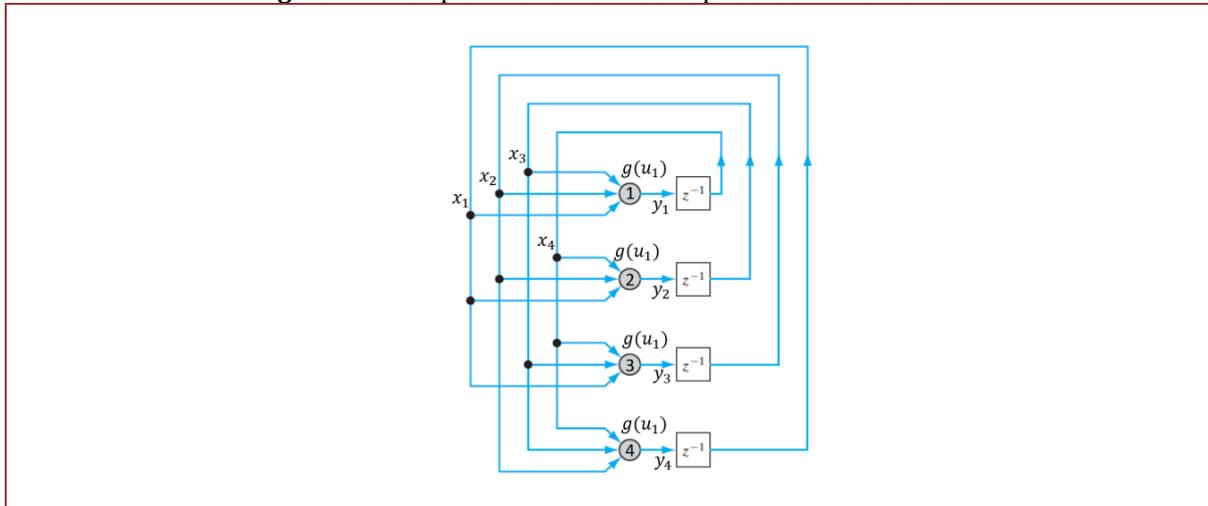
Essa rede é também chamada de auto-associativa, pois a saída de cada neurônio está conectada à entrada de todos os demais, sendo essas saídas chamadas de estados.

Dessa forma, por apresentarem uma característica dependente do tempo, esse tipo de rede produz um modelo dinâmico, podendo ser utilizadas em reconhecimento de padrões em sequências de dados e em sistemas de controle (ANTSAKLIS et al., 1990).

Para o treinamento, é apresentado à rede os padrões que são esperados, e a partir de um algoritmo de treinamento, por exemplo, o Aprendizado Hebbiano ou o Aprendizado de Storkey (STORKEY e VALABREGUE, 1999), será definido a força de cada neurônio.

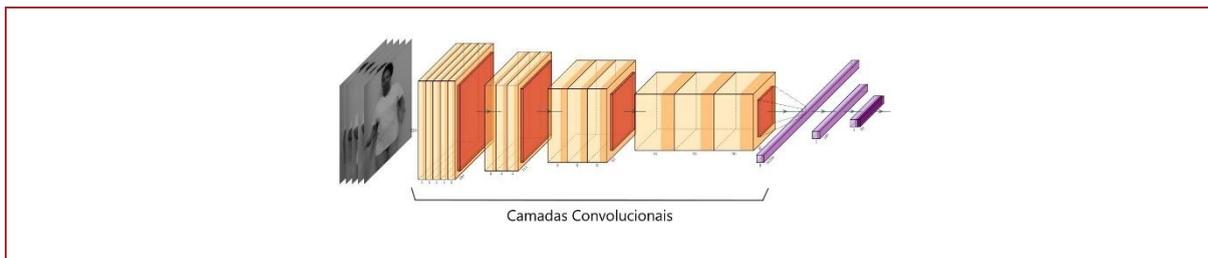
Com a capacidade de processamento cada vez maior dos computadores, na década de 90, outro tipo de rede é proposto por LeCun et al. (1995), as chamadas Redes Neurais Convolucionais. Como o próprio nome indica, nessas redes são utilizadas várias camadas, sendo que ao menos uma camada oculta realiza a operação matemática de convolução, permitindo extrair características dos dados de maior nível de abstração, conforme a Figura 8. Esse tipo de estrutura aliada ao poder computacional que se tem atualmente possibilitou o desenvolvimento das redes neurais profundas.

Figura 7 - Exemplo de uma Rede de Hopfield com 4 neurônios



Fonte: Adaptado de Haykin (2007).

Figura 8 – Exemplo de CNN utilizada para o reconhecimento de vídeos de sinais de Libras com 4 camadas convolucionais seguidas de MaxPooling, duas camadas densas e uma saída softmax.



Fonte: Rezende (2021).

4. TOPOLOGIAS DE UMA RNA

O tipo de arquitetura e de topologia de uma rede neural dizem respeito a forma que os componentes dessa rede (entradas, neurônios e saída) estão interconectados, e por consequência, a forma como a informação flui na rede e a forma com que os pesos são atualizados (ZAMBIASI, 2008).

São duas as topologias principais que as RNA podem possuir: *feedforward* (redes diretas) ou redes recorrentes (*feedback*). Nessas primeiras a alimentação da rede é para frente e geralmente a rede está organizada em camadas, não possuindo ciclos. Em geral, a primeira camada recebe o sinal de entrada, que é processado pelas camadas intermediárias, e o resultado da rede é gerado pela camada de saída. Já no segundo tipo de topologia, do tipo *feedback* com realimentação, o grafo possui pelo menos um ciclo, ou seja, a saída de um neurônio serve de alimentação para outro neurônio. São exemplos dessas redes as propostas por Hopfield e as redes bi-direcionais (ZOU, 2008).

A seleção dos parâmetros da topologia das redes, por exemplo, o número de neurônios na camada oculta, pode ser realizada selecionando a topologia que obtém melhores resultados estatísticos com as amostras do problema. Para tal, alguns dos métodos mais utilizados são (ARLOT e CELISSE, 2010):

- (i) *Random subsampling cross-validation*: para cada ensaio, as amostras são selecionadas aleatoriamente em um conjunto de treinamento e em um conjunto de validação, o qual será usado para ranquear as topologias após realizar a média dos resultados de vários ensaios;
- (ii) *Leave-one-out cross-validation* (LOO): uma única amostra é utilizada para o subconjunto de validação, sendo as demais alocadas para o subconjunto de treinamento, também chamada de validação cruzada por unidade;
- (iii) *k-fold cross-validation* (KOHAVI,1995): as amostras são separadas em k -partições, sendo que, a cada ensaio, $(k - 1)$ partições são utilizadas para o treinamento e uma partição para validação. Dessa forma, são realizados k ensaios, de maneira que todas as partições tenham sido utilizadas uma vez para a validação. Note que quando $k = N$ (número de amostras) tem-se a mesma condição do LOO.
- (iv) *k-fold Shuffle Split*: de maneira semelhante ao k -fold, as amostras são separadas em k -partições, sendo que, a cada ensaio, $(k - 1)$ partições são utilizadas para o treinamento e uma partição para validação. Porém, nesse caso, as partições são selecionadas aleatoriamente.

5. APRENDIZADO DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

A principal característica que torna as RNAs tão interessantes e de larga aplicabilidade é a capacidade de aprender a partir de dados e melhorar a própria performance por meio do aprendizado.

Para tal, na fase chamada de treinamento da rede, a partir de amostras que representam o sistema, um conjunto de ações sistematizadas em um algoritmo (de aprendizagem) permite que os parâmetros da rede sejam ajustados de maneira a torná-la capaz de generalizar (aprender) o sistema, minimizando o erro entre a saída desejada/esperada e a gerada pela rede.

Da Silva, Spatti e Flauzino (2010) distinguem três principais paradigmas de aprendizado, sendo que outras subdivisões também podem ser encontradas:

- (i) supervisionado: com base no par de informações (entradas e saídas desejadas) o algoritmo deve ajustar os seus parâmetros.
- (ii) não-supervisionado: as saídas desejadas para as amostras não são fornecidas/conhecidas, sendo assim, a própria rede deve descrever/identificar, os conjuntos de similaridades (clusters) presentes nos dados.
- (iii) por reforço: o algoritmo deve ajustar os seus parâmetros com base em recompensas/penalidades de acordo com sua saída, de maneira a maximizar a recompensa total.

Como mencionado na Seção 2, foi no final da década de 1940 que Donald Olding Hebb apresenta a primeira direção de como poderia ser feito um aprendizado supervisionado das redes neurais, conhecida como Aprendizado Hebbiano ou regra de Hebb. Esse aprendizado pode ser expresso pela Equação (4), de maneira que a atualização dos pesos sinápticos, \vec{w} , é realizada, diretamente, a partir das amostras de treino, em que \vec{x} é o vetor de dados correspondente à entrada desejada e \vec{y}_d é a saída desejada para cada uma das entradas:

$$\vec{w} = \vec{x}^T \cdot \vec{y}_d. \quad (4)$$

A partir dessa direção, Rosenblatt (1957) propôs para o Perceptron que o ajuste dos parâmetros (pesos e limiar) fosse feito de maneira iterativa, com base em um critério de parada, por exemplo, até que a norma do vetor de erro atingisse um determinado valor mínimo, conforme a Equação (5):

$$\begin{cases} \vec{w}(t+1) = \vec{w}(t) + \eta \vec{e}(t) \cdot \vec{x}(t), \\ \vec{e}(t) = \vec{y}_d - \vec{y}(t) \end{cases} \quad (5)$$

em que $\vec{w}(t+1)$ é o vetor de pesos e limiar a ser ajustado a partir desse vetor atual, $\vec{w}(t)$, na época t , acrescentado de uma variação dada pelo produto escalar entre o vetor de erro, $\vec{e}(t)$, e o vetor de entrada de treinamento, ponderado por uma constante η , que representa a taxa de aprendizado. Além disso, \vec{y}_d é o vetor de saída (binária) desejado para o treinamento e $\vec{y}(t)$ é o vetor atual de saída da rede.

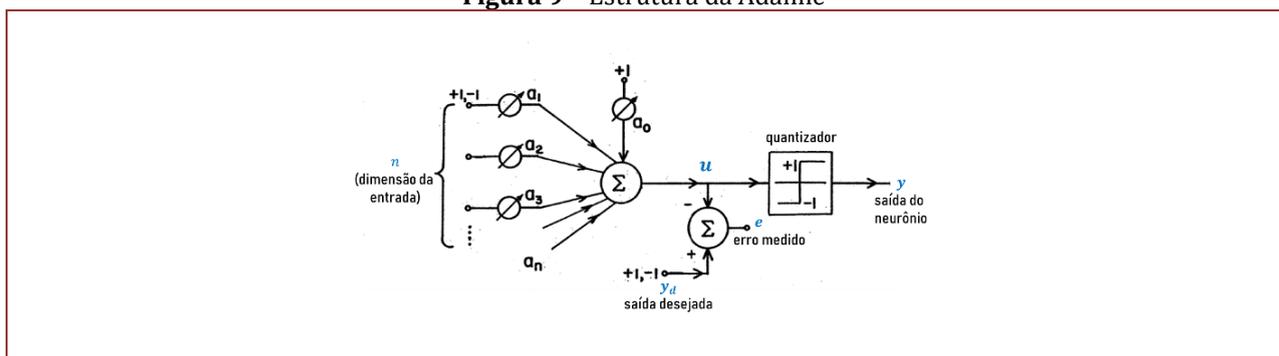
Esse algoritmo de treinamento possibilita ao Perceptron classificar binariamente um conjunto de dados linearmente separáveis, porém não garante a convergência ótima, sendo muito afetado pelos valores iniciais atribuídos ao vetor de pesos.

Dessa forma, uma das principais contribuições de Widrow e Hoff (1960) foi a proposta de um treinamento, chamado de Regra Delta (também chamado de aprendizado por correção de erro), que é baseado na minimização da soma dos erros quadráticos (Gradiente descendente). Para tal, há uma sutil modificação na estrutura do Perceptron, em que a avaliação do erro é realizada antes do quantizador (função de ativação), ou seja, diretamente a partir da resposta do neurônio, dada por $\vec{u}(t) = \vec{x}(t) \cdot \vec{w}^T(t)$, como pode ser visto na Figura 9. Assim, a atualização dos pesos da rede, seguindo a Regra Delta, é dada pela Equação (6):

$$\vec{w}(t+1) = \vec{w}(t) + \eta(y_d - \vec{u}(t)) \cdot \vec{x}(t), \quad (6)$$

em que a taxa de aprendizagem, deve ser bem escolhida para evitar que o tempo de convergência (número de épocas) não fique muito longo e ao mesmo tempo garanta a estabilidade do algoritmo.

Figura 9 – Estrutura da Adaline



Fonte: Adaptado de Widrow e Hoff (1960).

No caso das redes de arquitetura *Feedforward* de múltiplas camadas, um dos algoritmos mais utilizados é o *backpropagation* (retropropagação), desenvolvido inicialmente por Rumelhart, Hinton e Williams (1986) e aprimorado ao longo da década de 90 por Yu e Chen (1997) e LeCun et al. (1998b), visando acelerar o processo de aprendizagem por meio de algoritmos de otimização. De maneira geral, o *backpropagation* possui duas fases distintas:

- (i) fase *forward*: considera-se os pesos da rede fixos e o sinal de entrada é propagado diretamente pela rede até se obter a saída da rede;
- (ii) fase *backward*: são realizados os ajustes dos pesos da rede propagando o sinal de erro, camada a camada, no sentido da saída para a camada de entrada. A combinação dessas duas fases, faz com que a cada iteração o erro produzido pela rede diminua gradualmente.

Diferentemente desses, o aprendizado das redes RBF determina *a priori* os valores de centro e raio das funções radiais da camada intermediária, apresentados na Equação (1). Para tal, é comum a utilização de algoritmos de clusterização, como o *k-means* (Hartigan e Wong, 1979; Alsabti, Ranka e Singh, 1997). A partir desse algoritmo, os centros das funções radiais são determinados de maneira a cobrir todo o conjunto de dados, dividindo-o em regiões delimitadas pelo raio de cobertura da função, como pode ser visto na simulação preparada pelos autores: <https://youtu.be/08h-Mh-goKw>.

Tendo em vista o Teorema de Cover (1965) que diz que “Um problema de classificação de padrões mapeado de maneira não-linear em um espaço de alta dimensão tem maior probabilidade de separação linear que em um espaço de baixa dimensão” (HAYKIN, 2007) e baseadas na Teoria de Aprendizagem Estatística (VAPNIK, 1995), outro método de aprendizado supervisionado está presente nas chamadas Máquina de Vetores de Suporte (SVM - *Support Vector Machine*), apresentada por Boser, Guyon e Vapnik (1992).

Nesse tipo de aprendizado, mapeia-se as amostras em espaço alta dimensionalidade por meio do uso de funções *kernels* e o algoritmo busca encontrar um hiperplano que divide as classes de maneira a maximizar otimamente a separação entre elas, permitindo, a separação de um conjunto de dados não-linearmente separável.

Também baseado no Teorema de Cover, outro exemplo é o aprendizado das chamadas *Extreme Learning Machine* (ELM), que são redes *Feedforward* de múltiplas camadas, as quais os pesos das camadas ocultas são obtidos aleatoriamente, além de não necessitarem que as funções de ativação utilizadas sejam completamente diferenciáveis (HUANG, ZHU e SIEW, 2006). Esse aprendizado pode ser visto como um processo de linearização nas camadas ocultas por meio de projeções aleatórias.

Uma das principais vantagens das ELMs é a sua rápida velocidade de aprendizado, garantindo ainda um melhor desempenho de generalização, na maioria dos casos, quando comparado com os aprendizados baseados em gradiente, como *backpropagation*.

Diferentemente, no aprendizado denominado competitivo, somente um dos neurônios fica ativo por vez, e existe a competição entre eles para definir qual será ativado, sendo que o mecanismo de competição é baseado em métrica de distância (produto interno, distância euclidiana, e distância de *Hamming*), e pode haver conexões laterais inibitórias entre as camadas de processamento (ARAÚJO, 2017). Conforme Araújo (2017), três elementos são considerados para esse tipo de aprendizado:

- o que diferencia as unidades de processamento são os pesos que as conectam;
- há um limite que cada um desses pesos pode assumir;
- existe mecanismos de competição entre os neurônios.

Já o aprendizado de Boltzman, utiliza-se um algoritmo de aprendizado estocástico derivado da mecânica, sendo uma homenagem a Ludwig Boltzmann. Nele, os neurônios se organizam como uma rede recorrente, com operação de modo binário, sendo o estado ativo (+1) e o estado inativo (-1). Nesse contexto, a máquina de Boltzmann escolhe aleatoriamente um dos neurônios, em um passo do aprendizado e o muda de estado seguindo uma probabilidade. Caso a regra seja aplicada de maneira sucessiva, ocorrerá o equilíbrio térmico da máquina (AKLEY, 1985).

Além dos apresentados, também foi proposto por Teixeira et al. (2000) o aprendizado multiobjetivo, cuja abordagem propõe soluções que equilibrem o erro de treinamento e a norma de vetores de peso da rede, a fim de evitar *overfitting* (sobre ajuste do modelo aos dados).

6. RNA PÓS ANOS 2000 E APRENDIZADO PROFUNDO

Com a limitação computacional da época, as SVMs foram apresentando desempenho computacional melhor do que as RNAs pioneiras, especialmente em pequenas bases de dados (CORTES e VAPNIK, 1995). Assim, as RNAs novamente obtiveram destaques com a disponibilidade de unidades de processamento gráfico (GPU - *Graphics Processing Unit*) que tornaram possível o crescimento do Aprendizado Profundo e de ferramentas de Visão Computacional, desenvolvidas e aprimoradas a partir dos anos 2000, como é o caso do *OpenCV* (BRADSKI e KAEHLER, 2000).

Um dos trabalhos que teve grande influência nesse sentido foi o desenvolvimento da rede AlexNet (KRIZHEVSKY; SUTSKEVER e HINTON, 2012) que popularizou as CNN para Visão Computacional, em 2012, quando venceu a competição “*ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge*” (Desafio de reconhecimento visual em grande escala da ImageNet, em tradução livre) onde obteve 16% de erro de aprendizado, superando em 10,8% o segundo colocado nessa mesma competição, resultado muito promissor para a época. Na edição do ano seguinte, obteve destaque a ZF Net (WAN et al., 2013), que foi uma melhoria no AlexNet ao ajustar os hiperparâmetros da arquitetura, e em particular ao expandir o tamanho das camadas convolucionais intermediárias, além de diminuir o tamanho do passo e do filtro na primeira camada. Mais adiante em 2014, a GoogleNet (SZEGEDY et al., 2015) reduziu de 60 milhões (AlexNet) para 4 milhões a quantidade de hiperparâmetros da CNN, reduzindo, ao mesmo tempo, o erro de aprendizagem para 6,7%. Em 2015, a ResNet (HE et al., 2016), conseguiu reduzir o erro de aprendizado para 3,5%, através do uso intenso de normalização em lote.

Dessa forma, o poder computacional que as máquinas adquiriram juntamente com as ferramentas de processamento de dados permitiram o desenvolvimento de várias arquiteturas que se consolidaram na resolução problemas específicos. No presente, as redes mais modernas conseguem erros de aprendizagem que superam aos de observadores humanos em 5,1%, conforme Russakovsky et al. (2015).

7. RNA NA ATUALIDADE E DESAFIOS

Em virtude do crescimento do emprego de ferramentas de Aprendizado de Máquina (*Machine Learning*) e Aprendizado Profundo em diversas áreas na atualidade, uma nova demanda emergiu no que diz respeito a entender como os métodos utilizados funcionam. Muitos deles são caixa preta, pois não existe uma relação direta entre a entrada e a saída, e por isso nem sempre existe o entendimento claro das decisões tomadas nas aplicações que os utilizam.

Consequentemente, um novo campo que tem obtido bastante atenção é a Inteligência Artificial Explicável (XAI - *eXplanable Artificial Intelligence*), cujo principal foco é tornar as ferramentas de IA explicáveis e interpretáveis dentro de suas respectivas áreas de aplicabilidade. Arrieta et al. (2020) e Adadi e Berrada (2018) são referências para a XAI.

Uma vez que as RNAs englobam a categoria de métodos considerados opacos, pois ainda que os parâmetros e pesos internos das redes sejam acessíveis, eles não fornecem informações significativas do porquê determinada decisão foi tomada, trabalhos na área da XAI que ajudem a prover transparência para esta metodologia são de grande valia para o alcance de uma IA responsável. Com isso, a demanda atual vai além da obtenção de um bom desempenho e elevadas taxas de acerto, mas também da elucidação do funcionamento interno da metodologia aplicada e do entendimento de como as mudanças nas amostras impactam nas decisões.

8. CONCLUSÃO

Este artigo apresentou um panorama geral e histórico do estudo das RNA, possibilitando criar uma base de conceitos e de referências que fundamentam os trabalhos atuais da área.

Fica evidenciado, ao longo deste, as diferentes formas de como os neurônios artificiais podem ser organizados (arquitetura) e os vários algoritmos de aprendizagem, que seguem, por sua vez, paradigmas, como o aprendizado supervisionado. Sendo assim, essa diversidade de possibilidades permite a aplicação das RNA em diversas áreas e contextos, como é constatado.

Ressalta-se, porém, que a falta de transparência destes e de outros modelos de aprendizado de máquina trouxe, além do requisito de boa performance em relação aos métodos já existentes, a demanda por explicabilidade e interpretabilidade, para que eles sejam entendíveis a quem o utiliza.

REFERÊNCIAS

- [1] ABDEL-HAMID, O. et al. Convolutional neural networks for speech recognition. *IEEE/ACM Transactions on audio, speech, and language processing*, v. 22, n. 10, p. 1533-1545, 2014. DOI: 10.1109/TASLP.2014.2339736. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6857341>. Acesso em: 20 de agosto de 2021.
- [2] ABIODUN, Oludare Isaac; JANTAN, A., OMOLARA, A. E., DADA, K. V., MOHAMED, N. A., ARSHAD, H.. State-of-the-art in artificial neural network applications: A survey. *Heliyon*, v. 4, n. 11, p. e00938, 2018.
- [3] ADADI, A.; BERRADA, M. Peeking inside the black-box: a survey on explainable artificial intelligence (XAI). *IEEE Access*, v. 6, p. 52138-52160, 2018. DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2870052.
- [4] ADHIKARI, R.; AGRAWAL, R. K. A combination of artificial neural network and random walk models for financial time series forecasting. *Neural Computing and Applications*, v. 24, n. 6, p. 1441-1449, 2014. DOI: 10.1007/s00521-013-1386-y. Disponível em: <<https://tinyurl.com/ucyvvcu2v>>. Acesso em: 20 de agosto de 2021.
- [5] ACKLEY, D. H.; HINTON, G. E.; SEJNOWSKI, T. J. A learning algorithm for Boltzmann machines. *Cognitive science*, v. 9, n. 1, p. 147-169, 1985. DOI: 10.1016/S0364-0213(85)80012-4. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0364021385800124>>. Acesso em: 20 de agosto de 2021.
- [6] ALSABTI, K.; RANKA, S.; SINGH, V. An efficient k-means clustering algorithm. 1997.
- [7] ANTSAKLIS, P. J. et al. Neural networks for control systems. *IEEE Transactions on Neural Networks*, v. 1, n. 2, p. 242-244, 1990. DOI: 10.1109/72.80237. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/80237>>. Acesso em: 20 de agosto de 2021.
- [8] ARAÚJO, A. F. R. Aprendizagem em Redes Neurais. Universidade Federal de Pernambuco. 2017. Disponível em: <<https://www.cin.ufpe.br/~aluizioa/RN/RN-02-aprendizagem.pdf>>. Acesso em 05 de janeiro de 2021.
- [9] ARRIETA, A. B. et al. Explainable Artificial Intelligence (XAI): Concepts, taxonomies, opportunities and challenges toward responsible AI. *Information Fusion*, v. 58, p. 82-115, 2020. DOI: 10.1016/j.inffus.2019.12.012
- [10] ARLOT, S.; CELISSE, A. A survey of cross-validation procedures for model selection. *Statistics surveys*, v. 4, p. 40-79, 2010. DOI: 10.1214/09-SS054.
- [11] AYER, T. et al. Breast cancer risk estimation with artificial neural networks revisited: discrimination and calibration. *Cancer*, v. 116, n. 14, p. 3310-3321, 2010. DOI: 10.1002/cncr.25081. Disponível em: <https://acsjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/cncr.25081>. Acesso em: 20 de agosto de 2021.
- [12] BADESCU, V. Modeling solar radiation at the earth's surface. Berlin Heidelberg: Springer, 2014.
- [13] BOSER, B. E.; GUYON, I. M.; VAPNIK, V. N. A training algorithm for optimal margin classifiers. In: *Proceedings of the fifth annual workshop on Computational learning theory*. 1992. p. 144-152. DOI: 10.1145/130385.130401. Disponível em: <<https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/130385.130401>> Acesso em: 20 de agosto de 2021.
- [14] BRADSKI, G.; KAEHLER, A. *OpenCV*. Dr. Dobb's journal of software tools, v. 3, 2000.
- [15] BROOMHEAD, D. S.; LOWE, D. Radial basis functions, multi-variable functional interpolation and adaptive networks. Royal Signals and Radar Establishment Malvern (United Kingdom), 1988.
- [16] CHIROMA, H., ABDULLAHI, U. A., ALAROOD, A. A., GABRALLA, L. A., RANA, N., SHUIB, L., HERAWAN, T. Progress on artificial neural networks for big data analytics: a survey. *IEEE Access*, v. 7, p. 70535-70551, 2018.
- [17] CIRESAN, D. C. et al. Convolutional neural network committees for handwritten character classification. In: *2011 International Conference on Document Analysis and Recognition*. IEEE, 2011. p. 1135-1139. DOI: 10.1109/ICDAR.2011.229. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6065487>>. Acesso em: 20 de agosto de 2021.
- [18] CLABAUGH, C.; MYSZEWSKI, D.; PANG, J. History: Neural Networks, Stanford University, 2000. Disponível em: <<https://tinyurl.com/avt7cc3x>>. Acesso em 04 de janeiro de 2021.
- [19] CORTES, C.; VAPNIK, V. Support-vector networks. *Machine learning*, v. 20, n. 3, p. 273-297, 1995. DOI: 10.1007/BF00994018. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/BF00994018>> Acesso em: 20 de agosto de 2021.
- [20] COVER, T. M. Geometrical and statistical properties of systems of linear inequalities with applications in pattern recognition. *IEEE transactions on electronic computers*, n. 3, p. 326-334, 1965. DOI: 10.1109/PGEC.1965.264137. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4038449>> Acesso em: 20 de agosto de 2021.
- [21] CYBENKO, G. Approximation by superpositions of a sigmoidal function. *Mathematics of control, signals and systems*, v. 2, n. 4, p. 303-314, 1989. DOI: 10.1007/BF02551274. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/BF02551274>>. Acesso em: 20 de agosto de 2021.

- [22] DAHL, G. E. et al. Context-dependent pre-trained deep neural networks for large-vocabulary speech recognition. *IEEE Transactions on audio, speech, and language processing*, v. 20, n. 1, p. 30-42, 2011. DOI: 10.1109/TASL.2011.2134090. Disponível em: < <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5740583>> Acesso em: 20 de agosto de 2021.
- [23] NUNES, IVAN; DA SILVA, HERNANE SPATTI. *Artificial neural networks: a practical course*. Springer, 2017. DOI: 10.1007/978-3-319-43162-8. Disponível em: < <https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-319-43162-8>>. Acesso em: 20 de agosto de 2021.
- [24] DA SILVA, I. N.; SPATTI, D. H.; FLAUZINO, R. Andrade. *Redes neurais artificiais para engenharia e ciências aplicadas*. São Paulo: Artliber, v. 23, n. 5, p. 33-111, 2010.
- [25] ERDOGAN, O. et al. Forecasting Euro and Turkish Lira Exchange Rates with Artificial Neural Networks (ANN). *International Journal of Academic Research in Accounting, Finance and Management Sciences*, v. 4, n. 4, p. 307-316, 2014. DOI: 10.6007/IJARAFMS/v4-i4/1361. Disponível em: <<https://tinyurl.com/zxp38a9s>>. Acesso em: 20 de agosto de 2021.
- [26] GARTNER GLOSSARY. *Artificial Intelligence*. 2021. Disponível em: <<https://tinyurl.com/t2tmdh3f>>. Acesso em: 20 de agosto de 2021.
- [27] GRAVES, A. et al. A novel connectionist system for unconstrained handwriting recognition. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, v. 31, n. 5, p. 855-868, 2008. DOI: 10.1109/TPAMI.2008.137. Disponível em: < <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4531750>> Acesso em: 20 de agosto de 2021.
- [28] GRAVES, A. Offline arabic handwriting recognition with multidimensional recurrent neural networks. In: *Guide to OCR for Arabic scripts*. Springer, London, 2012. p. 297-313. DOI: 10.1007/978-1-4471-4072-6_12. Disponível em: < https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4471-4072-6_12> Acesso em: 20 de agosto de 2021.
- [29] GRAVES, A.; MOHAMED, A.; HINTON, G. Speech recognition with deep recurrent neural networks. In: *2013 IEEE international conference on acoustics, speech and signal processing*. IEEE, 2013. p. 6645-6649.
- [30] HARTIGAN, J. A.; WONG, Manchek A. Algorithm AS 136: A k-means clustering algorithm. *Journal of the royal statistical society. series c (applied statistics)*, v. 28, n. 1, p. 100-108, 1979. DOI: 0.2307/2346830. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/2346830>>. Acesso em: 20 de agosto de 2021.
- [31] HAY, J. C.; LYNCH, B. E.; SMITH, D. R. *Mark I Perceptron Operators' Manual*. Cornell Aeronautical Lab Inc Buffalo Ny, 1960.
- [32] HAYKIN, S. *Redes neurais: princípios e prática*. Bookman Editora, 2007.
- [33] HE, K. et al. Deep residual learning for image recognition. In: *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*. 2016. p. 770-778.
- [34] HEBB, D. O. 1949. *The Organization of Behavior: A Neuropsychological Theory*. New York: Science Editions, 1949.
- [35] HINTON, G. et al. Deep neural networks for acoustic modeling in speech recognition: The shared views of four research groups. *IEEE Signal processing magazine*, v. 29, n. 6, p. 82-97, 2012. DOI: 10.1109/MSP.2012.2205597. Disponível em: <<https://tinyurl.com/ajyhzt3y>> Acesso em: 20 de agosto de 2021.
- [36] HOCHREITER, S.; SCHMIDHUBER, J. Long short-term memory. *Neural computation*, v. 9, n. 8, p. 1735-1780, 1997. DOI: 10.1162/neco.1997.9.8.1735. Disponível em: < <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6795963>> Acesso em: 20 de agosto de 2021.
- [37] HOPFIELD, J. J. Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. *Proceedings of the national academy of sciences*, v. 79, n. 8, p. 2554-2558, 1982. DOI: 10.1073/pnas.79.8.2554. Disponível em: < <https://www.pnas.org/content/79/8/2554.short>>. Acesso em: 20 de agosto de 2021.
- [38] HUANG, G.; ZHU, Q.; SIEW, C. Extreme learning machine: theory and applications. *Neurocomputing*, v. 70, n. 1-3, p. 489-501, 2006. DOI: 10.1016/j.neucom.2005.12.126. Disponível em: < <https://tinyurl.com/4z5e386x>> Acesso em: 20 de agosto de 2021.
- [39] KHAN, J. et al. Classification and diagnostic prediction of cancers using gene expression profiling and artificial neural networks. *Nature medicine*, v. 7, n. 6, p. 673-679, 2001. DOI: 10.1038/89044. Disponível em: < https://www.nature.com/articles/nm0601_673>. Acesso em: 20 de agosto de 2021.
- [40] KLEENE, S. C. *Representation of Events in Nerve Nets and Finite Automata*. Rand Project Air Force Santa Monica Ca. 1951
- [41] KOHAVI, R. A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection. In: *Proceedings of the 14th International Joint Conference on Artificial Intelligence*. 1995. p. 1137-1145. Disponível em: <<https://dl.acm.org/doi/10.5555/1643031.1643047>>. Acesso em: 20 de agosto de 2021.

- [42] KRIZHEVSKY, A.; SUTSKEVER, I.; HINTON, G. E. Imagenet classification with deep convolutional neural networks. *Advances in neural information processing systems*, v. 25, p. 1097-1105, 2012. Disponível em: <<https://dl.acm.org/doi/10.5555/2999134.2999257>>. Acesso em: 20 de agosto de 2021.
- [43] LECUN, Y. et al. Efficient backprop. *Neural Networks: Tricks of the Trade*. New York: Springer, 1998a. DOI: 10.1007/978-3-642-35289-8_3. Disponível em: <<https://tinyurl.com/frxesuma>> Acesso em: 20 de agosto de 2021.
- [44] LECUN, Y. et al. Gradient-based learning applied to document recognition. *Proceedings of the IEEE*, v. 86, n. 11, p. 2278-2324, 1998b. DOI: 10.1109/5.726791. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/726791>>. Acesso em: 20 de agosto de 2021.
- [45] LECUN, Y. et al. Convolutional networks for images, speech, and time series. *The handbook of brain theory and neural networks*, v. 3361, n. 10, p. 1995, 1995.
- [46] LENT, R. et al. How many neurons do you have? Some dogmas of quantitative neuroscience under revision. *European Journal of Neuroscience*, v. 35, n. 1, p. 1-9, 2012. DOI: 10.1111/j.1460-9568.2011.07923.x. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22151227/>>. Acesso em: 20 de agosto de 2021.
- [47] LIPPMANN, R. An introduction to computing with neural nets. *IEEE Assp magazine*, v. 4, n. 2, p. 4-22, 1987. DOI:10.1145/44571.44572. Disponível em: <<https://dl.acm.org/doi/10.1145/44571.44572>>. Acesso em: 20 de agosto de 2021.
- [48] MCCULLOCH, W. S.; PITTS, W. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *The bulletin of mathematical biophysics*, v. 5, n. 4, p. 115-133, 1943. DOI: 10.1007/BF02478259. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/BF02478259>> Acesso em: 20 de agosto de 2021.
- [49] MINSKY, M.; PAPERT, S. An introduction to computational geometry. Cambridge tiass., HIT, 1969.
- [50] REZENDE, T. M. Reconhecimento Automático de Sinais de Libras: Desenvolvimento da Base de Dados MINDS-Libras e Modelos de Redes Neurais Convolucionais. 2021. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021.
- [51] ROISENBERG, M. SI Perceptron. Universidade Federal de Santa Catarina. 2004. Disponível em: <<https://tinyurl.com/27pmjhd>>. Acesso em: 20 de agosto de 2021.
- [52] ROSA, J. L. G. SCC-5809 - Capítulo 6 Redes de Função de Base Radial. Universidade de São Paulo. 2011. Disponível em: <<http://wiki.icmc.usp.br/images/e/e8/SCC5809Cap6.pdf>> Acesso em: 20 de agosto de 2021.
- [53] ROSENBLATT, F. The perceptron, a perceiving and recognizing automaton Project Para. Cornell Aeronautical Laboratory, 1957.
- [54] RUMELHART, D. E.; HINTON, G. E.; WILLIAMS, R. J. Learning representations by back-propagating errors. *Nature*, v. 323, n. 6088, p. 533-536, 1986. DOI: 10.1038/323533a0. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/323533a0>>. Acesso em: 20 de agosto de 2021.
- [55] RUSSAKOVSKY, O. et al. Imagenet large scale visual recognition challenge. *International journal of computer vision*, v. 115, n. 3, p. 211-252, 2015. DOI: 10.1007/s11263-015-0816-y
- [56] SANTOS, Vanessa S. Estrutura dos neurônios. 2019. Disponível em: <<https://tinyurl.com/2hjupfrh>>. Acesso em: 20 de agosto de 2021.
- [57] SARITAS, M. M.; YASAR, A. Performance analysis of ANN and Naive Bayes classification algorithm for data classification. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, v. 7, n. 2, p. 88-91, 2019. DOI: 10.18201/ijisae.2019252786. Disponível em: <<https://tinyurl.com/f7d29u34>>. Acesso em: 20 de agosto de 2021.
- [58] STORKEY, A. J.; VALABREGUE, R. The basins of attraction of a new Hopfield learning rule. *Neural Networks*, v. 12, n. 6, p. 869-876, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0893-6080\(99\)00038-6](https://doi.org/10.1016/S0893-6080(99)00038-6).
- [59] SZEGEDY, C. et al. Going deeper with convolutions. In: *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*. 2015. p. 1-9. DOI: 10.1109/CVPR.2015.7298594. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7298594>>. Acesso em: 20 de agosto de 2021.
- [60] TEIXEIRA, R. de A. et al. Improving generalization of MLPs with multi-objective optimization. *Neurocomputing*, v. 35, n. 1-4, p. 189-194, 2000. DOI: 10.1016/S0925-2312(00)00327-1. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925231200003271>> Acesso em: 20 de agosto de 2021.
- [61] TURING, A. M. On computable numbers, with an application to the Entscheidungs problem. *Proceedings of the London mathematical society*, v. 2, n. 1, p. 230-265, 1937.
- [62] VAN DER MALSBERG, C. Frank rosenblatt: Principles of neurodynamics: Perceptrons and the theory of brain mechanisms. In: *Brain theory*. Springer, Berlin, Heidelberg, 1986. p. 245-248.
- [63] VAPNIK, V. The Nature of Statistical Learning Theory. Springer science & business media. 1995. DOI: 10.1007/978-1-4757-3264-1. Disponível em: <<https://tinyurl.com/3e5e33c6>> Acesso em: 20 de agosto de 2021.

- [64] VEEN, F. V. LEIJNEN, S. The Neural Network Zoo. THE ASIMOV INSTITUTE. 2019. Disponível em: <<https://tinyurl.com/t3eyck6w>>. Acesso em: 20 de agosto de 2021.
- [65] VON NEUMANN, J. The General and Logical Theory of Automata, John von Neumann: Collected Works. Design of Computer, Theory of Automata and Numerical Analysis 5. 1948
- [66] WAN, L. et al. Regularization of neural networks using dropconnect. In: International conference on machine learning. PMLR, 2013. p. 1058-1066. Disponível em: <<http://proceedings.mlr.press/v28/wan13.html>>. Acesso em: 20 de agosto de 2021.
- [67] WANG, L.; LIN, Z. Q.; WONG, Alexander. Covid-net: A tailored deep convolutional neural network design for detection of covid-19 cases from chest x-ray images. Scientific Reports, v. 10, n. 1, p. 1-12, 2020. DOI: 10.1038/s41598-020-76550-z. Disponível em:< <https://www.nature.com/articles/s41598-020-76550-z>>. Acesso em: 20 de agosto de 2021.
- [68] WIDROW, B.; HOFF, M. E. Adaptive switching circuits. Stanford Univ Ca Stanford Electronics Labs, 1960.
- [69] WIECZOREK, M.; SIŁKA, J.; WOŹNIAK, M. Neural network powered COVID-19 spread forecasting model. Chaos, Solitons & Fractals, v. 140, p. 110203, 2020. DOI: 10.1016/j.chaos.2020.110203. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7428770/>> Acesso em: 20 de agosto de 2021.
- [70] YU, X.; CHEN, G. Efficient backpropagation learning using optimal learning rate and momentum. Neural networks, v. 10, n. 3, p. 517-527, 1997. DOI: 10.1016/S0893-6080(96)00102-5. Disponível em: <<https://tinyurl.com/96capbu9>> Acesso em: 20 de agosto de 2021.
- [71] ZAMBIASI, S. P. Redes Neurais: Arquitetura das Redes Neurais. Universidade Federal de Santa Catarina. 2008.
- [72] ZHANG, Yu et al. A survey on neural network interpretability. IEEE Transactions on Emerging Topics in Computational Intelligence, 2021. DOI: 10.1109/TETCI.2021.3100641. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9521221>>. Acesso em: 31 de agosto de 2021.
- [73] ZOU, J; HAN, Y.; SO, S. Overview of artificial neural networks. Artificial Neural Networks, p. 14-22, 2008. DOI: 10.1007/978-1-60327-101-1_2. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19065803/>>. Acesso em: 20 de agosto de 2021.

Autores

OSVALDO SENA GUIMARÃES (ORGANIZADOR)

Graduação em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia Kennedy (1983), Ênfase em Engenharia de Transportes EEK (1983), Análise De Sistemas - UFMG(1985), Especialização em Gestão de Projetos de Engenharia IEC/PUC (2012), Mestrado em Estratégia FEAD (2005). Professor do curso de Engenharia Civil da Universidade do Estado de Minas Gerais (2015-2017 Divinópolis). Professor na Faculdade Senac Minas. Atua na área de ensino superior desde 1988 como Professor, Coordenador de Curso, Coordenador de Extensão, Coordenador de Iniciação Científica e de Pré-incubadora de base Tecnológica. Atua na área de Engenharia, Computação e Projetos desde 1984.

AMIR RIVAROLI JUNIOR

Atualmente exerce o cargo de professor do curso de Engenharia da Anhanguera Educacional Participações de Pindamonhangaba, onde ingressou em 2019. No Centro Paula Souza ? Fatec Pindamonhangaba, atuou de 2009 a 2021, ingressou como Professor Assistente nas disciplinas de Fundação I e II, posteriormente em Análise de Falhas e Materiais de Construção Mecânica como Professor Associado, também exerceu o cargo de Coordenador do Curso de Tecnologia em Manutenção Industrial de 2016 a 2019. Encontra-se atualmente realizando Doutorado na UNESP - Guaratinguetá e Pós-Graduação em Engenharia de Materiais pela Anhanguera. Possui Graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade de Taubaté - UNITAU (1995), Pós-Graduação em Tecnologia de Fundação, se tornando um Especialista em Fundação pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT (2009), Mestrado em Engenharia Mecânica na área de concentração de Engenharia de Materiais pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP - Guaratinguetá (2014). Tem larga experiência na área de Engenharia de Materiais Metálicos, com ênfase em Processos Metalúrgicos, Fundação de Ligas Ferrosas e Não-Ferrosas, Caracterização Microestrutural através de Microscopia Ótica e Tratamento Térmico de Ligas de Aços e Ferros Fundidos Especiais. Atuou por mais de 28 anos em empresas do segmento metal-metalúrgico tendo seu último trabalho como Assessor Técnico de Engenharia na empresa Gerdau de Pindamonhangaba na área de fabricação de cilindros de laminação. Desenvolve projetos e pesquisa na área de materiais e atua como orientador em trabalhos de conclusão de curso e treinamentos especializados em empresas da região.

ANGELO CARLOS GAMBA

Engenheiro de Produção e Sistemas , Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais, Especialista em Desenvolvimento de Produtos da Tupy S.A.

ANNIBAL PARRACHO SANTÁNNA

Graduação em Matemática pela UFRJ (1966), graduação em Ciências Econômicas pela UFRJ (1970), mestrado em Matemática pelo INMPA (1970) e doutorado em Statistics pela University of California, Berkeley (1977). É professor titular da UFF. Tem experiência na área de Probabilidade e Estatística, com ênfase em Probabilidade e Estatística Aplicadas. Atuando principalmente nos seguintes temas:Comultiplicative Functionals, Markov Processes, Random times.

BRUNA RIBEIRO DOS SANTOS

Bolsista em Iniciação Científica, graduanda em Engenharia de Controle e Automação pelo IFMG - Campus Betim e possui formação técnica em Equipamentos Biomédicos pelo CEFET-MG. Já atuou na área de pesquisa e possui experiências em estágios anteriores na área de Engenharia Clínica. Possui interesse em automatização de processos, internet das coisas e automação industrial.

BRUNO LUCIANO PRIMESZ LAURIA

Atuando a 5 anos na área de Negócios em TI e também como Product Owner em projetos aplicados em metodologias ágeis (Scrum). Tendo como responsabilidades; o gerenciamento de projetos junto ao time de desenvolvimento, bem como o mapeamento e definições de processos sistêmicos voltado a estratégia de negócios; Quality Assurance (QA) para garantir a qualidade e integridade sistêmica;

Levantamentos de requisitos funcionais e não funcionais para desenvolvimento e implantação de sistemas, tais como ERP(Oracle), B.I, WMS, entre outros.

CAMILA STEPHANIE GONÇALVES

Graduada em Engenharia de Produção pela Universidade Salesianas de Lorena-SP – UNISAL. Tecnóloga em Processos em Projetos Mecânicos pela Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba – SP.

CARLOS DE SOUZA CABEZAS

Engenheiro Metalurgista, Doutor em Engenharia Metalúrgica, Gerente Técnico na Engenharia de Processos Metalúrgicos da Tupy S.A.

CIRLENE FOURQUET BANDEIRA

Possui graduação em Engenharia Química pela UERJ - Universidade Estadual do Rio de Janeiro (2008), mestrado (2011) e doutorado (2015) em Engenharia Mecânica na área de Materiais pela UNESP-FEG (Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho), com período de sanduíche de 9 meses na CWRU (Case Western Reserve University em Ohio-EUA). Durante 3 (três) anos foi especialista em Análise Térmica na PerkinElmer do Brasil, trabalhou também como especialista e responsável por desenvolvimento de novas metodologias e manutenção na Netzsch do Brasil (8 anos) e como especialista da METTLER do Brasil (1 ano) no mesmo seguimento. Atualmente ministra aulas de química, termodinâmica e estatística no UNIFOA (Centro Universitário de Volta Redonda) e aulas de tratamento térmico para o Mestrado Profissional de Materiais da mesma instituição. Tem experiência na área de Engenharia de Materiais, com ênfase em compósitos e análise térmica para o desenvolvimento de novas metodologias.

DALCIMAR CASANOVA

Possui bacharelado em Ciência da Computação pela Universidade do Oeste de Santa Catarina UNOESC (2005), mestrado em Ciências de Computação e Matemática Computacional pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação ICMC-USP (2008)(CAPES 7), doutorando em Física Computacional pelo Instituto de Física de São Carlos IFSC-USP (2013)(CAPES 7) e pós-doutorando no Instituto de Física de São Carlos IFSC-USP(2015). Atualmente é professor na Universidade Tecnológica Federal do Paraná UTFPR. Tem experiência nas áreas de Ciência da Computação, Física Computacional e aplicações em áreas multidisciplinares, atuando principalmente nos seguintes temas: visão computacional, redes complexas, fractais, aprendizado de máquina e bioinformática.

DALMARINO SETTI

Possui graduação em Engenharia de Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa(1996), mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa(2003) e doutorado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul(2010). Atualmente é professor titular da Universidade Tecnológica Federal do Paraná e Revisor de periódico da International Journal of Engineering Management and Economics (IJEME). Tem experiência na área de materiais e metalurgia, engenharia de produção, com ênfase em Pesquisa Operacional. Atuando principalmente nos seguintes temas: ligas e fundição de metais, seleção de processos, decisão multicritério discreta.

DEISI VIEIRA ISQUIERDO

Possui graduação em Engenharia Metalúrgica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2008-2014) e mestrado no PPGEM-UFRGS em Engenharia de Minas Metalúrgica e Materiais (2015-2017). Experiência na área de Siderurgia, atuando principalmente em pesquisa e desenvolvimento de processos de produção de aços via aciaria elétrica. Atualmente, é aluna de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias Espaciais do Instituto de Estudos Avançados

do ITA, atuando na área de fabricação com Manufatura Aditiva, tecnologia de deposição de energia direta (DED). Coordenadora na FATEC Pindamonhangaba, Centro Paula Souza, no curso de Tecnologia em Mecânica: Processos de Soldagem.

EDSON CARLOS DA SILVA

Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Salesianas de Lorena – UNISAL. Técnico em Mecânica pelo Colégio Técnico de Guaratinguetá – SP – COTEC/UNESP. Inspetor de Equipamento, qualificado pela Associação Brasileira de Ensaio não Destrutivo e Inspeção – ABENDI.

ELIAS JOSÉ DE REZENDE FREITAS

Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), com ênfase em Robótica. Concluiu a graduação em Engenharia Elétrica também pela UFMG (2011) e foi bolsista do Programa de Educação Tutorial (PET) da mesma. Participou do projeto Navegação de veículos autônomos em ambientes externos e do projeto Desenvolvimento de um mini-helicóptero autônomo desenvolvido pelo do Grupo de Pesquisa e Desenvolvimento de Veículos Autônomos da UFMG (PDVA). É membro do Grupo de Estudos em Tecnologias de Automação e Energias Renováveis (GETAER) e coordenador do grupo de pesquisa Robotics and Intelligent Systems - EPIIBOTS no desenvolvimento de robôs móveis. Atualmente é professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) - Campus Ibiturê. Atua principalmente nas seguintes áreas: robótica, controle de sistemas, sistemas embarcados, visão computacional e eletrônica.

ELTON MESQUITA DE ALMEIDA

Graduação em Engenharia Mecânica - Universidade Federal do Espírito Santo Mestrado em Engenharia Mecânica - Universidade Federal do Espírito Santo Pesquisador de Desenvolvimento Industrial Tecnológico Nível A - FAPES

EMERSON AUGUSTO RAYMUNDO

Graduação em Engenharia Industrial Química EEL/USP. Mestrado em Engenharia Mecânica UNESP/FEG. Doutorado em Engenharia de Materiais EEL/USP (2005). Professor Universitário das faculdades FATEC de Pindamonhangaba, Faculdade SENAI de Cruzeiro, do centro Universitário de Volta Redonda UniFOA, de 2010 a 2014. Centro de Estudo Ambientais do Vale do Paraíba CEAVAP de 2011 a 2015. Professor do Centro Universitário UNISAL de Lorena -SP de 2014 a 2017.

FABIANA DE CARVALHO FIM

Possui graduação em Engenharia Química pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (1998), graduação em Química pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (2004), mestrado em Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2007), doutorado em Ciências dos Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2012) e pós-doutorado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Atualmente é professora do departamento de Engenharia de Materiais na Universidade Federal da Paraíba. Tem experiência em síntese de compostos organo-metálicos, em nanocompósitos poliméricos e síntese de materiais grafiticos, atuando principalmente nos seguintes temas: síntese grafeno, síntese de nanocompósitos e caracterização de polímeros.

GILSON BRITO ALVES LIMA

Engenheiro Civil, Especialista em Engenharia de Segurança pela Universidade Federal Fluminense. Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal Fluminense e Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Atualmente é Professor Associado da Universidade Federal Fluminense. Pesquisa com ênfase em Gerência de Riscos, Manutenção, Segurança e Meio Ambiente Industrial.

GUILHERME YOUSSEF RODRIGUEZ

Docente do curso de graduação em Engenharia de Bioprocessos da UNIFEI (Universidade Federal de Itajubá). É formado em Engenharia Química pela UFSCar (Universidade Federal de São Carlos) e atua na modelagem e simulação computacional de bioprocessos industriais, incluindo design de biorreatores pneumáticos via CFD e desenvolvimento de interfaces gráficas em VBA/Excel. Durante a Iniciação Científica e Mestrado, atuou na área de "downstream processing", mais especificamente na modelagem e simulação de processos para purificação de antibióticos beta-lactâmicos, como o ácido clavulânico e a cefamicina C, sendo que o tema da Tese de Doutorado foi a estimativa de parâmetros de desempenho de biorreatores pneumáticos através da Fluidodinâmica Computacional (CFD).

IZABEL DE OLIVEIRA DA MOTA

Graduada em Engenharia Química pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (2008), Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (2011) e Doutora em Engenharia Metalúrgica pela Universidade Federal Fluminense (2015). Atualmente é Professora do Centro Universitário de Volta Redonda, Consultora Técnica e Gestora de Projetos da Gomes & Brito Engenharia e Consultoria.

JORGE ROSA

Doutor em Engenharia Mecânica, na área de Tratamento de Superfície, Biomateriais e Nanotecnologia pela Universidade Estadual Paulista - UNESP-FEG. Mestre em Engenharia Mecânica na área de Tratamento de Superfície, Otimização de Processo e Planejamento de Experimentos, pela Universidade Estadual Paulista - UNESP-FEG. Especialização em Engenharia da Qualidade pela Universidade de São Paulo - EEL/USP. Graduado em Produção Mecânica, pelo Instituto de Ensino Superior de Cruzeiro - IESC. Professor Superior III a 6 anos da Faculdade de Tecnologia de São Paulo - FATEC. Docente colaborador no Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Design, Tecnologia e Inovação - PPG-DTI, na UNIFATEA. Professor do Colégio Técnico de Lorena - COTEL-USP. Foi professor por 5 anos na Engenharia de Produção do Centro Universitário Saecianos de Lorena - Unisal. Foi professor por 12 anos no Curso Superior de Design e Administração no Centro Universitário UNIFATEA. Atua a mais de 25 anos na pesquisa em Engenharia de Materiais na Universidade de São Paulo-USP, Campus Lorena. Nas áreas de Corrosão, Tratamento de Superfície e Microscopia Eletrônica de Varredura e DOE. Coordenou por 5 anos o Curso Técnico em Soldagem no Colégio Delta de Lorena-SP.

JOSÉ RUBENS CAMARGO

Professor, Doutor e Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP). Experiência teórica e prática na área da metalurgia física para purificação de materiais e crescimento de monocristais para o processo de solidificação unidirecional e processo de fusão zonal. Experiência como supervisor e signatário autorizado em laboratório RBLE acreditado pelo INMETRO em ensaios mecânicos e metalográficos. Professor no curso do mestrado profissional e acadêmico em Engenharia Mecânica, curso de especialização de Engenharia Aeronáutica dos cursos e pós em manutenção industrial da Universidade de Taubaté. Atua como orientador nos temas de projetos aplicados tais como: materiais, processos de fabricação, ensaios não destrutivos (END), materiais de construção mecânica, metalurgia física, processos de soldagem com projetos aplicados as empresas dos segmentos de petróleo e gás, petroquímico, aeronáutico, aeroespacial, automobilística, energia, bélico e transformação.

LETICIA FRITZ HENRIQUE

Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal Fluminense (2018), mestrado em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações na Universidade Federal Fluminense (2020). Atualmente cursa doutorado em Sistemas de Energia Elétrica pela Universidade Federal de Juiz de Fora, na área de análise de redes, com ênfase em recursos energéticos distribuídos e redes inteligentes. Possui pesquisa nas seguintes áreas: resposta a demanda, geração distribuída, veículo

elétrico, tecnologia concentradora fotovoltaica/térmica, sistema de trigeriação, modelagem de redes e otimização matemática.

LETÍCIA SOUZA NETTO BRANDI

Professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, câmpus Bragança Paulista. Tem experiência na área de desenvolvimento de software, banco de dados, governança de tecnologia da informação e gestão por processos de negócios. Além da área acadêmica também atuou na área de Tecnologia da Informação em empresas de prestação de serviços. Desenvolve pesquisas na área de processos de negócios e administração pública. Possui graduação em Análise de Desenvolvimento de Sistemas pela Pontifícia Universidade Católica de Campinas (1986), especialização em Análise de Sistemas pela Pontifícia Universidade Católica de Campinas (1991), mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas (1999), doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas (2013) e pós-doutorado na Universidade do Porto - Portugal (2017).

LUIZ OCTÁVIO GAVIÃO

Bacharelado em Ciências Navais pela Escola Naval (1986-1990), com especialização em eletrônica. Realizou Curso de Aperfeiçoamento na Escuela de Oficiales de la Armada (EsOA) da Marinha da Argentina (1998), Mestrado em Estudos Militares na United States Marine Corps University (2002-2003) e MBA em Gestão Empresarial pela COPPEAD - UFRJ (2006). Mestrado (2014) e doutorado (2017) em Engenharia de Produção na UFF. Atualmente é Professor Adjunto na Escola Superior de Guerra (ESG), credenciado no Programa de Pós-Graduação em Segurança Internacional e Defesa (PPGSID).

MARCELA CAMARGO MATTEUZZO

Docente dedicação exclusiva de Biologia do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico do Instituto Federal de Minas Gerais. Doutora em Ciências Naturais, Evolução Crustal e Recursos Naturais/UFOP e em Sciences de l'Environnement Terrestre/CEREGE-Université Paul Cézanne, França. Mestre em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre/UFMG. Licenciada e bacharel em Ciências Biológicas pela UFOP. Experiência nas seguintes áreas: zoologia dos invertebrados, macrófitas aquáticas, ecologia, manejo de espécie silvestre, sustentabilidade, recursos hídricos, educação. Projetos de pesquisa, ensino e extensão.

MARCELINO PEREIRA DO NASCIMENTO

Professor Doutor Associado (Livre-Docente) e Pesquisador da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista, Atua como revisor de artigos científicos para periódicos indexados internacionais. Foi agraciado pela AESF com o prêmio ABNER BRENNER - Silver Medal como autor do segundo melhor artigo publicado na revista Plating & Surface Finishing ao longo de 2001. Possui experiência na área de Engenharia Mecânica e de Materiais, com ênfase em Caracterização Mecânica e Microestrutural de Materiais, Fadiga e Mecânica da Fratura.

MÁRCIO ALVES DE LIMA

Possui graduação em Engenharia Mecânica pelo Centro Universitário de Volta Redonda(2010), especialização em MBA em Gestão da Qualidade e Produtividade Ind. pelo Centro Universitário de Volta Redonda(2013) e mestrado profissional em Materiais pelo Centro Universitário de Volta Redonda(2017). Tem experiência na área de Engenharia de Produção, com ênfase em Gerência de Produção.

MARCIO ZAMBOTI FORTES

Graduado em Engenharia Eletrica pela Universidade Severino Sombra (1991), Especialização em Manutenção pela UFRJ/UPADI (1999), MBA em Gestão de Negócios (IBMEC-2009), Mestrado em

Engenharia de Energia pela Universidade Federal de Itajubá (2000) e Doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo (2007). É professor Associado II da Universidade Federal Fluminense (UFF) e atua nos Mestrados de Engenharia Elétrica e Telecomunicações e Profissional em Montagem Industrial. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em conservação e qualidade de energia, atuando principalmente nos seguintes temas: medição eletrônica, eletrônica de potência, gestão da manutenção e automação .

MARIA CRISTINA CARRUPT

Engenheira Metalúrgica, formada pela Universidade Federal Fluminense (UFF - EEIMVR) e Mestre em Engenharia Mecânica, com área de concentração em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, pela Universidade Estadual Paulista (UNESP - FEG). MBA em Gestão da Produção, também pela UNESP. Atualmente, cursando o Programa Doutoral em Materiais e Processamento Avançados na Universidade de Coimbra, em Portugal. Experiência profissional na área de laminação a quente (em indústria siderúrgica integrada) e na área de tratamento térmico de fundidos (em indústria do setor ferroviário). Há quatorze anos integra o quadro de docentes do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza. Professora responsável pela disciplina de Metalurgia da Soldagem, na Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba (Fatec), desde 2014, sendo em modalidade EaD de 08/2020 a 08/2021. Coordenou o Curso Superior em Tecnologia Mecânica - Processos de Soldagem, na mesma instituição, de 02/2016 a 09/2019. Experiência e publicações relacionadas a aplicação de metodologias ativas e trabalhos de interdisciplinariedade.

MARIA EDVANIA DE ALMEIDA LIMA

Técnica em edificações – IFPB – 2009; Bacharela em Engenharia de Materiais – UFPB – 2017; Pós-graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho – Universidade Cruzeiro do Sul – 2020; Curso de Formação Inicial e Continuada em Gestor de Microempresa – IFPB – 2020; Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais – UFPB – Término em Julho de 2022. Tem experiência em Desenvolvimento de projetos em Autocad de projetos residenciais, empresariais e industriais; Desenvolvimentos de estudos laboratoriais com polímeros e grafeno; Desenvolvimento de estudos com nanomateriais e cargas híbridas de grafeno e nanotubos de carbono; Estudo de nanocompósitos poliméricos desenvolvidos com cargas carbonáceas e caracterização mecânica e térmica;

MARIA NALU VERONA

Graduada em Engenharia de Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (1996) e Licenciatura em Ciências pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (1991), mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (2003) e doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Paraná (2016). Possui experiência em indústrias metal/mecânicas tendo atuado nas áreas de desenvolvimento de produtos, processos, tratamento de superfície e qualidade. Atualmente é professora na Universidade Tecnológica Federal do Paraná com atuação principalmente em engenharia de superfície, aspersão térmica, revestimento de superfície, esmaltação sobre metais.

MARIANA MORAES OLIVEIRA

Recebeu o título de Bacharel em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Potência pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) em 2017. Possui experiência no setor elétrico em empresas de transmissão e distribuição de energia elétrica e, atualmente, é aluna de mestrado no campo de Modelagem e Análise de Sistemas de Energia, pela Universidade Federal Fluminense (UFF), atuando em pesquisas, estudos e modelagem de limitadores de curto-circuito em sistemas de distribuição.

NATHALIA CRISTINA VALADÃO DUARTE

Recebeu o título de Engenheira Eletricista com ênfase em Sistemas de Potência pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) em 2018. Possui experiência no acompanhamento e na gestão de equipes de emergência, manutenção e obras, e em projetos de instalações elétricas residenciais

e comerciais. Recebeu o título de Especialista em Engenharia Elétrica pela União Brasileira de Faculdades (UniBF) em 2020. Atualmente, é aluna de mestrado de Engenharia Elétrica no campo de Modelagem e Análise de Sistemas de Energia, na Universidade Federal Fluminense (UFF).

PAULI ADRIANO DE ALMADA GARCIA

Graduado em Matemática pela Universidade Federal Fluminense (1999), Mestre em Sistemas e Computação, pelo IME (2001) e Doutor em Engenharia Nuclear pela COPPE/ UFRJ (2006). Atualmente é Professor Associado do Departamento de Administração e Administração Pública da Universidade Federal Fluminense, lotado em Volta Redonda. Coordena o curso de graduação em Administração e o grupo de pesquisa ARCADE - Análise de Risco, Confiabilidade e Apoio à Decisão. Atua como colaborador/pesquisador junto ao Programa de Engenharia de Produção da UFF/Niterói.

PAULO HENRIQUE LUCIO

Graduando em Engenharia de Bioprocessos da Universidade Federal de Itajubá.

PEDRO LUIZ DA CRUZ SALDANHA

Graduado Engenharia Elétrica pela UERJ (1976), mestrado (1995) e doutorado (2003) em Engenharia Nuclear pela COPPE/UFRJ. Atuou como professor do UBM 2008-2019. Exerceu a função de tecnologista da CNEN (1983-2020). Foi bolsista de pós-doutorado do Programa de Pós-Graduação em Administração na UFF, ICHS- VR no Projeto Modelos Avançados em Confiabilidade de Sistemas Complexos (Projeto ARCADE). Atualmente é engenheiro do Instituto Brasileiro da Qualidade Nuclear atuando como Supervisor Técnico Independente nas áreas Elétrica e Instrumentação e Controle.

RAMON SIGIFREDO CORTÉS PAREDES

Possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade do Norte (1975), Mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina (1987) e Doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina (1998). Atualmente é professor associado III da Universidade Federal do Paraná. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em soldagem, fundição e aspersão térmica. É pesquisador colaborador do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguêz - CENPES e dos Institutos LACTEC. Desenvolve pesquisa utilizando Nióbio, Alumínio, Ferro, Molibdênio, Cobre, Chumbo, Bário, formação de intermetálicos e ligas metálicas cerâmicas para revestir superfícies resistentes à cavitação, corrosão e desgaste, e estudos de soldabilidade de aços inoxidáveis especiais [Duplex, SuperDuplex, SuperMartensíticos e SuperFerríticos].

REGINALDO DA SILVA LEME

Analista de Sistemas na Polícia Militar do Estado de São Paulo, possui Graduação em Tecnólogo de Polícia Ostensiva e Preservação da Ordem Pública - Polícia Militar do Estado de São Paulo (2020), graduação em Análise e Desenvolvimento de Sistemas pelo Instituto Federal de São Paulo (2017) e encontra-se no 3º Semestre da Pós Graduação em Gestão Estratégica da Tecnologia da Informação pelo Instituto Federal de São Paulo. Com enfoque na gestão de projetos, desenvolvimento de sistemas e banco de dados, possui cursos voltados a área de Programação, Banco de dados SQL, Cybersecurity e Cloud Fundations da AWS.

REGINALDO VAGNER FERREIRA

Possui graduação em Engenharia Elétrica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (2006) e mestrado em Engenharia Elétrica (Ufsj / Cefet-Mg) pela Universidade Federal de São João Del-Rei (2012). Atualmente é professor dos ensinios técnico e superior do Instituto Federal Minas Gerais e doutorando em Engenharia Elétrica (UFMG). Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Automação Eletrônica de Processos Elétricos e Industriais, atuando

principalmente nos seguintes temas: geração distribuída, power quality, microgrids e controle de conversores estáticos de potência.

SAMARA SILVA SANTOS

Mestranda em Engenharia Elétrica na linha de Inteligência Computacional na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), possui pós graduação em Governança de TI, pelo Instituto Prominas. Possui graduação em Engenharia de Computação pelo CEFET-MG Campus Timóteo, curso em Técnico em Informática pelo Centro Técnico Lúcia Casa Santa. É servidora do CEFET-MG Campus Timóteo no cargo de Técnico em Laboratório - Área Informática. Possui interesse nas área de Inteligência Artificial, especialmente nas áreas que englobam Aprendizado de Máquina (Machine Learning e Deep Learning), e também no campo da Computação Evolucionária.

SÉRGIO ROBERTO MONTORO

Possui graduação em Engenharia Química pela Escola de Engenharia de Lorena - Universidade de São Paulo (2002), Mestrado em Engenharia de Materiais pela Escola de Engenharia de Lorena - Universidade de São Paulo (2005) e Doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - campus de Guaratinguetá (2014). É Professor de Ensino Superior 3-D e Diretor na FATEC de Pindamonhangaba, Professor Responsável Doutor no Centro Universitário de Volta Redonda (UniFOA), Professor (Docente e Orientador) no Programa de Mestrado Profissional em Materiais do Centro Universitário de Volta Redonda (MEMAT/UniFOA) e Professor Contratado-III na Escola de Engenharia de Lorena - Universidade de São Paulo. Possui dezenas de artigos publicados em jornais e congressos, mais de vinte livros e capítulos de livros e dezenas de orientações de Mestrado, Iniciação Científica e Trabalho de Conclusão de Curso.

TAMIRES MARTINS REZENDE

Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), com ênfase em Inteligência Computacional. Concluiu a graduação em Engenharia de Controle e Automação pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) em 2014. Foi monitora das disciplinas de Cálculo II e Informática Industrial, participou do projeto AeroDesign (Equipe 12 Bis) por dois anos e foi professora do Cursinho Pré-vestibular durante seu último ano de graduação. Atuou como professora substituta no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) - Campus Itabirito, nos anos de 2016 e 2019. É membro do Laboratório Machine Intelligence and Data Science (Minds Lab - <http://minds.eng.ufmg.br>). Pesquisadora associada na Gaia, solutions on demand e Especialista em Desenvolvimento de Software na FITec. É doutora pela UFMG na área de Inteligência Computacional, com o foco no reconhecimento automático de sinais de Libras (Língua Brasileira de Sinais). Suas áreas de interesse são reconhecimento de padrões, aprendizado de máquina e visão computacional.

TIAGO PIRES ABUD

Possui graduação (2015) e mestrado (2019) em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal Fluminense (UFF). Atualmente, é doutorando em Engenharia Elétrica também pela UFF e bolsista financiado pela CAPES. Suas pesquisas incluem: Geração Distribuída; Mobilidade Elétrica; Qualidade de Energia Elétrica; e Modelagem e Análise de Redes de Distribuição.

VAGNER KAEFER DOS SANTOS

Engenheiro de Computação registrado no CREA Paraná com a carteira PR-165882/D. Tem experiência na área de desenvolvimento de sistemas e infraestrutura computacional. Tem interesse em na área de IA, Eletrônica, processamento de energia e processamento distribuído.

VINÍCIUS DALLA CORTE

Graduado em Engenharia de Computação pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Câmpus Pato Branco (2017) com ênfase na área de utilização de redes de Bragg em painéis fotovoltaicos. Foi aluno de Iniciação Tecnológica e Científica integrante do trabalho de Transdutor à Fibra Ótica para Mapeamento Térmico de Painel Fotovoltaico.

WILSON LUIZ GUESSER

(in memoriam) Engenheiro Metalurgista, Mestre e Doutor em Engenharia Metalúrgica, professor da Universidade do Estado de Santa Catarina - CCT, consultor de Pesquisa&Desenvolvimento da Tupy S.A.

www.poisson.com.br
contato@poisson.com.br

@editorapoisson



<https://www.facebook.com/editorapoisson>

