



EPIC

FATEB

2018

**V Encontro de Pesquisa
IX Encontro de Iniciação Científica**

ANAIS

**Vol. III - Engenharia Mecânica e
Engenharia Química**

Denise Revelk Cecatto
Gilmar Aparecida Rosas Takassi
Ivo Neitzel
Coordenadores

 **FATEB**

V ENCONTRO DE PESQUISA E IX ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA FATEB

“Tendências em Inovação, Empreendedorismo, Sustentabilidade e
Educação”

25 e 26 de outubro de 2018 - Telêmaco Borba/Paraná

Denise Revelk Cecatto
Gilmara Aparecida Rosas Takassi
Ivo Neitzel
Coordenadores

ANAIS

Vol. III – Engenharia Mecânica e Engenharia Química

Telêmaco Borba – PR
2019

Copyright do texto © 2019 - Editora FATEB
Todos os direitos reservados. É permitida a reprodução para fins de estudo.
Vedada a reprodução, distribuição, comercialização ou cessão sem autorização do autor.

Este livro foi publicado no site: <http://afaculdade.fatebtb.edu.br>

A correção ortográfica e gramatical é de total responsabilidade dos autores.



Comissão de Editoração

Direção Comercial – Paula Regina Pontara

Coordenação Geral – Eliane F. Young Blood

Capa – Daniel Olibone Moreira

Diagramação – Eliane F. Young Blood

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

F262a ENCONTRO DE PESQUISA DA FATEB e ENCONTRO DE
INICIAÇÃO CIENTÍFICA – Tendências em Inovação,
Empreendedorismo, Sustentabilidade e Educação (5/9. : 25 e 26 de
outubro de 2018: Telêmaco Borba, PR)
Anais: Vol.III – Engenharia Mecânica e Engenharia Química. –
Telêmaco Borba, PR : Editora FATEB, 2019.
540p.

Bibliografia.

ISBN 978-85-54949-28-0

1. Encontro de pesquisa; 2. Anais. I. FATEB. II. Título.

CDD 050

V ENCONTRO DE PESQUISA e IX ENCONTRO DE INICIAÇÃO CINÉTICA DA FATEB

“Tendências em Inovação, Empreendedorismo, Sustentabilidade e
Educação”

25 e 26 de outubro de 2018 - Telêmaco Borba/Paraná

Denise Revelk Cecatto
Gilmara Aparecida Rosas Takassi
Ivo Neitzel

Coordenação do Evento

Adriano Rogério Goedert
Anderson Valério de Oliveira
Denise Revelk Cecatto
Donizeth Aparecido dos Santos
Gilmara Aparecida Rosas Takassi
Fabia Regina Theis
Flávia Sayuri Arakawa
Comitê Gestor

Ivo Neitzel
Joseane Ballan
Joseane Cintia Piechnicki
Luciana Cassarino-Perez
Maicon Ramon Bueno
Michel de Angelis Nunes
Osvaldo Vieira
Rodrigo José Lopes

Ana Paula Bonasso Moreira
Adiléia Ribeiro dos Santos
Amanda Cristina Flach
Ana Kaori de Oliveira Ouba
Chanary Procek
Claudeci Coutinho
Eliane Engel Gogola
Elisângela Lagos
Gabriel Nunes Maia Junior
Gladerez Sollieri Santos
Guilherme Sandaka
Hanna Carolina Kruger
Comissão de Avaliação

João Guilherme Pereira Chaves
Kevin Mauricio Menon Ribeiro
Marcel Andrey Góes
Marcelo Rugiski
Marjorie Pelik Kempe
Mary Ane Gonçalves
Paulo Eduardo Redkva
Paulo Roberto Campos Alcover Junior
Pedro Fernandes Neto
Renan Godoy
Roseli Aparecida Foltran
Sandra Regina Merlo
Vitor Hugo Bueno Fogaça

Eliane Ferreira Young Blood – Biblioteca/ Editora Fateb
Fernando Augusto Constantino da Silva – Tecnologia da Informação
Letícia de Melo Campos – Núcleo de Registro Acadêmico
Lorena Salem Ribeiro – Comunicação
Nathaly Sartor - Administrativo

Comissão de Execução

APRESENTAÇÃO

Esta publicação que ora apresentamos é fruto do trabalho de vários autores das mais variadas áreas do conhecimento, e reúne o resultado de trabalhos apresentados no V Encontro de Pesquisa da FATEB e IX Encontro de Iniciação Científica da Fateb, realizado nos dias 25 e 26 de outubro de 2018, na cidade de Telêmaco Borba/PR.

Este evento promove um momento de interlocução dos acadêmicos da Fateb com acadêmicos de outras instituições e também de professores, especialistas, mestres e doutores no diálogo e reflexão acerca das pesquisas apresentadas.

Essa interlocução no evento contribuiu para o amadurecimento teórico de nossos acadêmicos, que dão os primeiros passos para a construção de uma pesquisa séria e de qualidade orientados por nossos professores.

Precisamos também destacar que na realização do evento, que culminou na presente publicação, foi imprescindível a atuação coletiva para a organização, efetivação e finalização dos trabalhos. Alunos, professores e todos os demais envolvidos no processo colaboraram para o sucesso do evento e agora dos Anais.

Eliane F. Young Blood

Coordenadora da Biblioteca e Editora Fateb

SUMÁRIO

Engenharia Mecânica

I. Artigos

01. ANÁLISE BIOMECÂNICA POR ELEMENTOS FINITOS DE ESPAÇADORES INTERVERTEBRAIS NA COLUNA LOMBAR
Mateus Tavares de Queiroz e Kevin Mauricio Menon Ribeiro 013
02. ANÁLISE DE FALHA DE UMA LINHA DE RECALQUE DE ÁGUA EM UMA INDÚSTRIA DO SETOR DE CELULOSE E PAPEL
Guilherme Afonso Mendes e Paulo Roberto Campos Alcover Junior..... 026
03. AUTOMAÇÃO DE BAIXO CUSTO DE UM PROTÓTIPO DE RESIDÊNCIA UTILIZANDO ARDUINO
Pablo Henrique Gomes, Eduardo Mappa 037
04. DESIGN E SIMULAÇÃO DOS MOVIMENTOS DE UM BRAÇO ROBÓTICO DE 4 GRAUS DE LIBERDADE
Matheus Adriano Godoy Ramos e Kevin Mauricio Menon Ribeiro 052
05. PROJETO VAGA CERTA: ACESSIBILIDADE E ENERGIA.
Luiz Mauricio Soares; Kevin Mauricio Menon Ribeiro e Maicon Ramon Bueno.....
..... 063
06. PROJETO, CONSTRUÇÃO E VALIDAÇÃO DE UMA BANCADA DIDÁTICA PARA O ESTUDO DA FLEXÃO E DEFLEXÃO DE VIGAS
Bruno Vieira Piola e Kevin Mauricio Menon Ribeiro 075
07. REDIMENSIONAMENTO E ANALISE DE CASO DE UM SISTEMA TUBO DISPERSOR (CHUVEIRO) DE AMIDO CRU.
Laudelino Matheus Machado e Ana Kaori Ouba 093
08. PROTÓTIPO DE BANCADA DE ANÁLISE DE VIBRAÇÃO
Renan Moraes Ferraz e Kevin Maurício Menon Ribeiro 106
09. TRICICLO PARA LOCOMOÇÃO URBANA
Júlio Fernando da Silva , José Eduardo da Silva Neto, Juliano Xavier de Oliveira, Juliana dos Santos Silva , Márcio José Kloster 117
10. UTILIZACAO DE ENERGIA TERMICA DE AR QUENTE DESPREZADO POR INFRAVERMELHOS EM CAPOTAS DE AR
Carlos Camargo de Queiroz e Gabriel Nunes Maia Junior..... 129

II. Pôster

01. ANÁLISE COMPARATIVA DE TEMPERATURA EM UM PROTÓTIPO DE CÂMARA FRIA COM TELHADO VERDE
Joalison Bento da Silva e Paulo Roberto Campos Alcover Junior..... 147
02. OTIMIZACAO DE UM EIXO-ÁRVORE BASEADO NO DIAGNÓSTICO POR ANÁLISE DE VIBRAÇÃO
Leandro Talevi Machado e Kevin Mauricio Menon Ribeiro 152

03. PLANO DE MANUTENCAO CORRETIVA E PREVENTIVA DE MAQUINAS FLORESTAIS	
Alex Sandro dos Santos e Luis Carlos Menezes Almeida Junior	157

Engenharia Química

I. Artigos

01. ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO POR HIDROCARVÃO DE CASCA DE BANANA	
Ana Carolina de Lima Barizão, Murilo Barbosa de Andrade, Marcela Fernandes Silva, Rosângela Bergamasco, Raquel Guttierrez Gomes	162
02. ADSORÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS EM SERRAGEM DE MDF (MEDIUM-DENSITY FIBERBOARD)	
Silvana Fernandes Montanher, Larissa Bello Neves de Farias e Mariane Dalpasquale	173
03. ADSORÇÃO DE DICLOFENACO DE SÓDIO EM MEIO AQUOSO EM NANOFOLHAS DE ÓXIDO DE GRAFENO	
Ana Carolina Sestito Guerra; Murilo Barbosa de Andrade; Gessica Wernke; Ana Carolina de Lima Barizão e Rosângela Bergamasco	184
04. ADSORÇÃO DE DAPIRONA DE AMOSTRAS AQUOSAS POR MEIO DE CASCAS DE SEMENTE DE Moringa oleífera Lam. MODIFICADAS	
Rodrigo Souza Antônio; Heloíse Beatriz Quesada ; Luís Fernando Cusioli; Charleston de Oliveira Bezerra e Rosângela Bergamasco	198
05. ADSORÇÃO DO ANTIBIÓTICO CEFALEXINA EM SOLUÇÃO AQUOSA UTILIZANDO ÓXIDO DE GRAFENO	
Gessica Wernke; Ana Carolina Sestito Guerra; Quelen Leticia Shimabuku-Biadola; Marcia Regina Fagundes Klen e Rosângela Bergamasco	208
06. ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE CALCINAÇÃO DE ZNO PARA USO EM FOTOCATÁLISE HETEROGÊNEA	
Marco Antonio Cardoso de Souza e Diéury de Lima Carvalho	217
07. ANÁLISE DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE NANOCELULOSE E DA VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE FILTROS DE NANOCELULOSE PARA REMOÇÃO DE COLORAÇÃO DE CORANTES INDUSTRIAIS.	
Diéury de Lima Carvalho e Marco Antonio Cardoso de Souza	229
08. APLICAÇÃO DE ÓXIDO DE GRAFENO PARA REMOÇÃO DO HERBICIDA DIURON DE ÁGUA CONTAMINADA.	
Rodrigo de Souza Antônio, Ana Carolina Sestito Guerra, Aline Takaoka Alves Baptista, Rosângela Bergamasco e Angélica Marquetotti Salcedo Vieira	246
09. APLICAÇÃO DE REDES NEURAS ARTIFICIAIS PARA A OTIMIZAÇÃO DE PROCESSO DE DESTILAÇÃO DO REFINO DO PETRÓLEO	
Greiciane dos Santos e Isabeli Rayane de Souza	259

10. APLICAÇÃO DE REDES NEURAIS PARA CONSTATAÇÃO DE PADRÕES DE VAZAMENTOS EM DUTOS Ingrid Louise Ferreira da Silva e Shellem Lorena Santos de Mello	266
11. BRIQUETES ECOLÓGICOS A PARTIR DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS DE PINUS E EUCALIPTO Leticia Rodrigues, Nayara Amany Dobzinski, Vaniele Oliveira de Melo, Marcelo Coelho dos Santos Muguet.....	279
12. CONTROLE EM DESTILAÇÃO BATELADA BASEADO EM REDES NEURAIS ARTIFICIAIS Leticia Rodrigues, Nayara Amany Dobzinski e Vaniele Oliveira de Melo	288
13. DEGRADAÇÃO DE EFLUENTE DE DESCARTE DE LABORATÓRIO UTILIZANDO RADIAÇÃO SOLAR E CATALISADORES SUPORTADOS Veronice Slusarski-Santana; Leila Denise Fiorentin-Ferrari; Camila Pereira Giroto	305
14. DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE REDUÇÃO DE UMA CALDEIRA DE RECUPERAÇÃO UTILIZANDO REDES NEURAIS ARTIFICIAIS Alan Guilherme Hornung e Mayk Willian de Melo Sikorski.....	316
15. ESTUDO DA ADSORÇÃO DE IBUPROFENO EM MEIO AQUOSO UTILIZANDO ÓXIDO DE GRAFENO Murilo Barbosa de Andrade; Tássia Rhuna Tonial dos Santos; Ana Carolina Sestito Guerra; Gessica Wernke e Rosângela Bergamasco.....	324
16. ESTUDO DE APLICATIVO PARA FUTURA MODELAGEM DE UMA REDE NEURAL A PARTIR DE DADOS DO SIMULAR DA EMBRAPA Allan Fernando de Oliveira; Bruno de Oliveira Chagas; Júlio Marcos Gomes Ribeiro; Thomas Ricardo Wolski; Harrison Andretta de Moraes.....	336
17. EXTRAÇÃO DO ÓLEO DA BORRA DE CAFÉ COM ETANOL Julio Marcos Gomes Ribeiro; Thomas Ricardo Wolski; Maicon Ramon Bueno; Fernanda de Oliveira; Flávia Sayuri Arakawa e Maicon Ramon Bueno	347
18. INFLUÊNCIA DO MÉTODO DE SÍNTESE NA COR DE PIGMENTOS INORGÂNICOS SINTÉTICOS Mariane Dalpasquale e Fauze Jacó Anaissi	359
19. INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL ASSOCIADA À SIMULAÇÃO DE UM PROCESSO DE DESTILAÇÃO DIFERENCIAL Ana Carolina de Souza e Silva, Jeferson Carlos da Silveira, Osvaldo Vieira, Ronaldo Krette Filho	370
20. O PROCESSO DE DEGRADAÇÃO FOTOLÍTICA DA ATRAZINA UTILIZANDO RADIAÇÃO MW-UV Gabriela Nascimento Silva; Luiz Mario de Matos Jorge; Onélia Aparecida; Andreo dos Santos	389
21. O USO INDUSTRIAL DE MACHINE LEARNING COMO IMPULSIONADOR DE CONFIABILIDADE E SEGURANÇA Allan Fernando de Oliveira; Bruno de Oliveira Chagas; Julio Marcos Gomes Ribeiro; Thomas Ricardo Wolski; Harrison Andretta de Moraes;	403

22. PREDIÇÃO DO RENDIMENTO ACADÊMICO UTILIZANDO REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS Douglas Cesar Mariano da Silva, Marlene Guemra Borriero, Marcelo Schreder, Ivo Neitzel	413
23. SIMULAÇÃO E COMPARAÇÃO DE MODELOS DE HIDROCLONE PARA REMOÇÃO DE PARTÍCULAS DE ENXOFRE Gustavo Leite Dias Pereira; Fernanda Naiara Campos de Almeida; Djeine Cristina Schiavon Maia; Pedro Augusto Arroyo e Nehemias Curvelo Pereira	430
24. UTILIZAÇÃO DE REDE NEURAL ARTIFICIAL PARA CONTROLE DE ESTOURO EM MÁQUINA DE PAPEL KRAFT Renato Nascimento Viana; Rodrigo de Souza Barbosa; Osvaldo Vieira e Ivo Neitzel...	441
25. UTILIZAÇÃO DE REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS PARA MODELAGEM E OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO KRAFT Otávio Farias e Rubia Maria Betim dos Santos	457
26. UTILIZACAO DE REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS NA DETECCAO E DIAGNOSTICO DE FALHAS EM EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS Renon Rodrigues de Mello e Ricardo da Costa Brizola.....	469
27. ANÁLISE DE RISCOS NA CONDUÇÃO DE VEÍCULO 4X4 SOB A ÓTICA DA NR 17. Jailson Batista Xavier e Ariel Orlei Michaloski.....	481

II. Pôster

01. ANÁLISE DO FERMENTADO DE AMORA: COMPARAÇÃO ENTRE O PRODUTO ARTESANAL EM RELAÇÃO AO INDUSTRIAL Amanda Carlyne Gonçalves da Luz e Fernanda de Oliveira	492
02. APLICAÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA AVALIAÇÃO DE UMA TORRE DE RESFRIAMENTO Laryssa Souza Moreira e Theyziele de Souza Chelis Luiz Renato Pesch	498
03. APLICAÇÃO DE ALGORITMOS NA DETERMINAÇÃO DE CIRCUITOS DE RECOLHA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS Marciel Patrick Ortiz Alves, Jair da Silva e Suellen Rodrigues da Silva.....	504
04. BEBIDA DE KEFIR: NOVA ALTERNATIVA DE PRODUTO FUNCIONAL Kawane da Silva Mariano e Fernanda de Oliveira	509
05. COMPARAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE DUAS CELULOSES FLUFF COMERCIAIS Marlene Guemra Borriero, Marcelo Coelho dos Santos Muguet Soares	514
06. GERAÇÃO DE HIDROGÊNIO ATRAVÉS DA ELETRÓLISE DA ÁGUA Fernando Machado de Melo, Gabriel de Oliveira Kum, Luciano Rodrigues Simões Flávia Sayuri Arakawa	520
07. IDENTIFICAÇÃO DE GASOLINAS ADULTERADAS UTILIZANDO REDES NEURAIAS Amanda Carlyne Gonçalves da Luz e Kawane da Silva Mariano	525

08. O ESTUDO DO TEOR DE ZNO EM CATALISADORES DE ÓXIDOS MISTOS APLICADOS NA FOTODEGRADAÇÃO DA ATRAZINA Gabriela Nascimento Silva; Luiz Mario de Matos Jorge e Onélia Aparecida Andreo dos Santos	531
09. APLICAÇÃO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EM SISTEMAS DE BOMBEAMENTO MECÂNICO Leonan de Albuquerque Piasentim e Marcos William Lourenço.....	536

Engenharia Mecânica



ANÁLISE BIOMECÂNICA POR ELEMENTOS FINITOS DE ESPAÇADORES INTERVERTEBRAIS NA COLUNA LOMBAR

Mateus Tavares de Queiroz¹, Kevin Mauricio Menon Ribeiro².

RESUMO

O presente trabalho refere-se à analisar biomecânica por elementos finitos de espaçadores intervertebrais na coluna lombar, que é o estudo detalhado das tensões geradas entre a vértebra e o implante intervertebral (osso-implante), por meio de software de simulação. Desenvolve-se o estudo que descreve a modelagem em CAD de uma vértebra lombar L5 e a simulação da mesma com dois modelos de espaçadores intervertebrais PLIF e ALIF. Com o objetivo de contribuição in vivo sobre o tema abordado, por meio dos resultados de simulação do modelo proposto e validar o modelo proposto analisando as tensões obtidas pelos espaçadores com a literatura.

Palavras-chave: Coluna lombar; Biomecânica lombar; Espaçadores intervertebrais.

ABSTRACT

The present work refers to the finite element biomechanical analysis of intervertebral spacers in the lumbar spine, which is the detailed study of the tensions generated between the vertebra and the intervertebral implant (bone-implant), through simulation software. The study that describes the CAD modeling of an L5 lumbar vertebra and the simulation of it with two models of PLIF and ALIF intervertebral spacers is developed. With the objective of contributing in vivo on the topic addressed, through the simulation results of the proposed model and validate the proposed model by analyzing the tensions obtained by the spacers with the literature.

Key-words: lumbar spine; Lumbar biomechanics; Intervertebral Spacers.

1. INTRODUÇÃO

As dores lombares é uma das principais alterações musculares esqueléticas presente na sociedade industrializada, afeta aproximadamente de 70 a 80 % da população economicamente ativa e é também uma das principais causas da aposentadoria total ou parcial (ANDRADE et al., 2005).

Existem uma série de tratamentos para os problemas de dores lombares, umas mais conservativas, como por exemplo, repouso e fisioterapia e pouco mais invasiva, como a disectomia. No entanto, em casos crônicos os tratamentos mais conservativos deixam de ser eficazes, sendo necessária uma intervenção cirúrgica (GUERRIN e ILLIOT, 2006).

Um dos procedimentos cirúrgicos mais conservativos é a cirurgia de fusão intervertebral, neste tipo de tratamento remove-se o disco degenerado causador da

¹ Acadêmico de Engenharia Mecânica na FATEB – e-mail:<hiperpower01@gmail.com>.

² Professor do curso de Engenharia Mecânica da FATEB – e-mail:<eng.kevin.mmr@gmail.com>.

dor lombar e insere-se um espaçador intervertebral com enxerto ósseo em seu interior, com o intuito de fundir as vértebras adjacentes.

Do ponto de vista biomecânico, a coluna lombar está sujeita a uma série de carregamentos oriundos do próprio peso do tronco, dos membros superiores e carregamentos externos dos músculos posteriores.

Neste contexto uma análise detalhada da distribuição de tensão do implante inserido e da interface osso-implante é de extrema importância, para a prevenção de falhas e possíveis lesões pós cirúrgicas, que podem ocorrer devido as altas solicitações mecânicas na região.

Este artigo visa contribuir no entendimento da biomecânica da região lombar, buscando mimetizar as condições in vivo, comparando diferentes designs de implantes, via simulação numérica pelo método de elementos finitos.

Existem uma grande gama de designs de implantes atualmente no mercado, diferenciando principalmente pelo tipo de acesso cirúrgico PLIF, ALIF, TLIF e LLIF, nessa análise vai envolver dois modelos de espaçadores, que são pela técnica cirúrgica PLIF e o ALIF, para indicações das tensões na região de contato osso-implante (TALIA et al., 2015).

Com o intuito de analisar o melhor tipo de espaçador, que conseqüentemente ocasione menos tensão possível nesse tipo de procedimento, para que não haja futuras dores e sequelas, que podem até levar o paciente a aposentadoria precoce.

2. METODOLOGIA

Faz se necessário uma revisão literária de aspectos pertinente a anatomia humana e biomecânica da região lombar, para melhor entendimento dos diversos tipos de carregamentos na coluna lombar, também o estudo dos tipos de cirurgias e os diversos modelos de espaçadores atualmente no mercado.

Baseado nas informações levantadas, faz-se necessário realizar os modelos por meio de software de CAD dos modelos de osso e implante, para realização da simulação numérica das tensões de contato. Com isso a elaboração do modelo realizado por elementos finitos, utilizando pacote de software comercial, em especial, da Autodesk Inventor Professional 2019.

E por final a comparação dos resultados obtidos com os resultados existente na literatura, com o intuito de validar o modelo proposto.

2.1 Modelagem da Vértebra

A modelagem da estrutura em CAD, constituiu em um modelo de vértebra L5 obtido pelo departamento de antropologia da Universidade da Carolina do Norte em Greensboro, modelada com a permissão do Dr. Robert Anemone, com o criador Keri Newsome, estudante de graduação da Universidade da Carolina do Norte em Greensboro, pelo software: Agisoft PhotoScan Professional e Geomagic Wrap 2014, ilustrado na Figura 1.

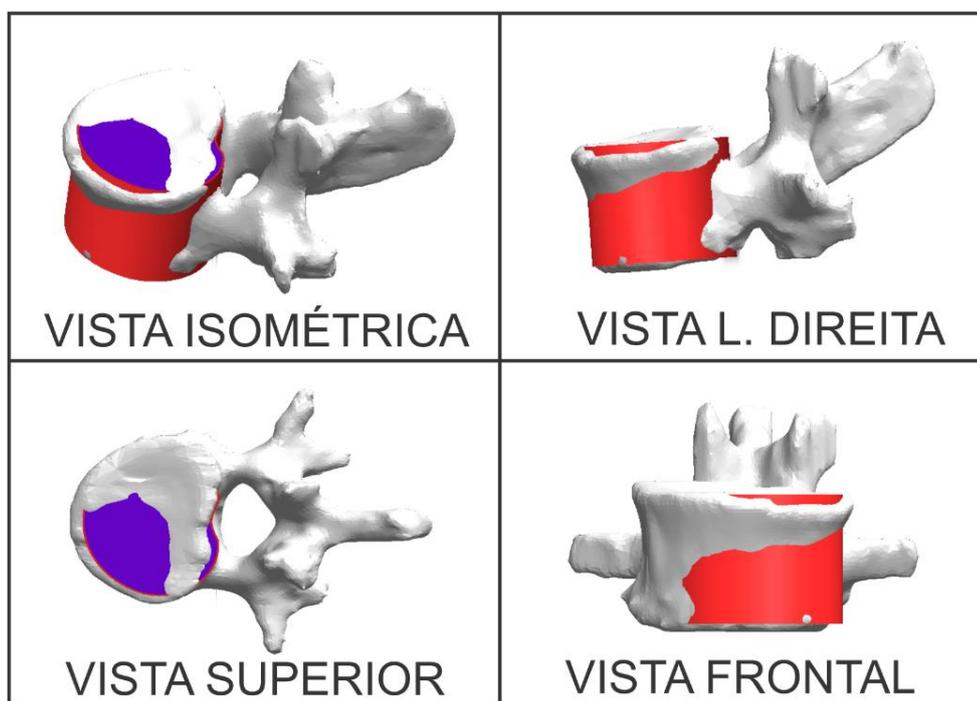
Figura 1 – Modelo da vértebra L5



Fonte: Adaptado pelo autor (2018)

Esta análise consiste com algumas simplificações, sendo a superfície superior e inferior do osso cortical sejam planas, por motivos de conflitos de alinhamento osso-implante e também que somente a região corpo vertebral será analisada, demonstrado na Figura 2.

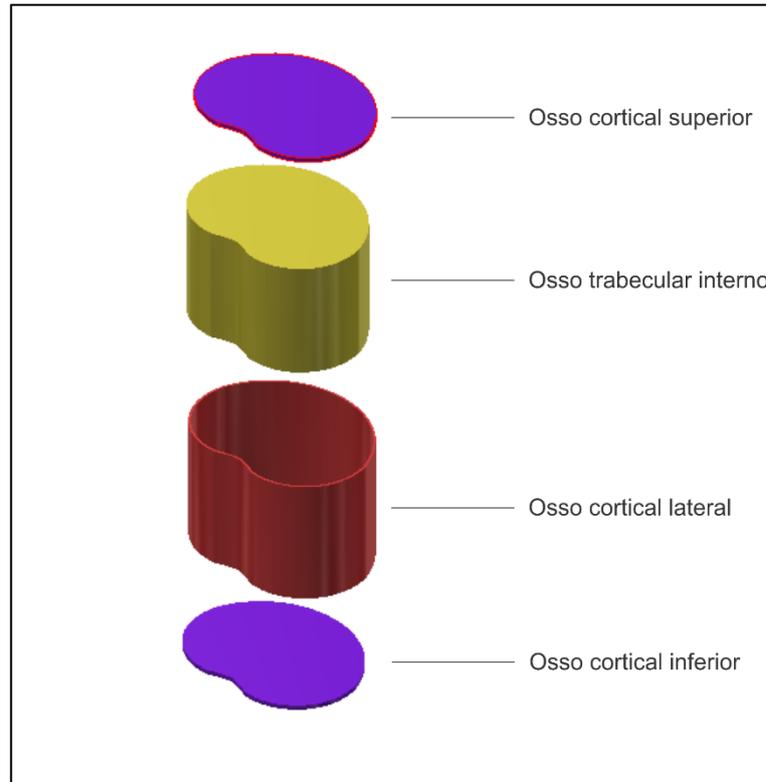
Figura 2 – Modelo proposto para estudo



Fonte: Autor (2018)

Realizado o modelo proposto, faz-se necessário a montagem das peças, na Figura 3 demonstra uma vista explodida da estrutura óssea de uma vertebra L5, onde o osso cortical superior e inferior tem espessura de 1 mm (WANG et al., 2011) e osso cortical lateral possui 0,5 mm (McDONALD et al., 2010).

Figura 3 – Vista do corpo vertebral explodido

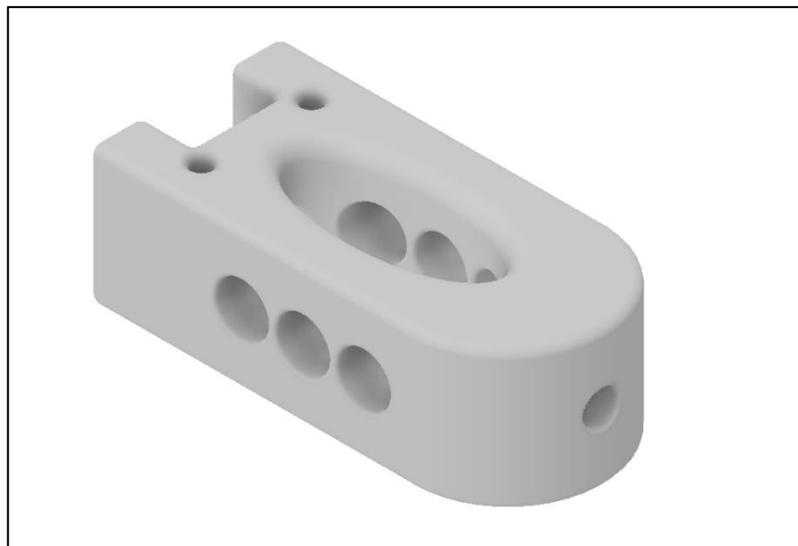


Fonte: Autor (2018)

2.2 Modelo de Espaçador Intervertebral Plif

Utilizando modelos comerciais de espaçadores intervertebrais, foi considerado que superfície superior e inferior fossem planas por conflito de alinhamento (osso-implante), abaixo na Figura 4 ilustra o modelo 1 do espaçador intervertebral PLIF e com suas respectivas dimensões na Tabela 1.

Figura 4 – Espaçador intervertebral de modelo PLIF



Fonte: Autor (2018)

Na Tabela 1, apresenta dois modelos de espaçadores intervertebrais do modelo PLIF.

Tabela 1: Dimensões de espaçadores intervertebrais do modelo PLIF

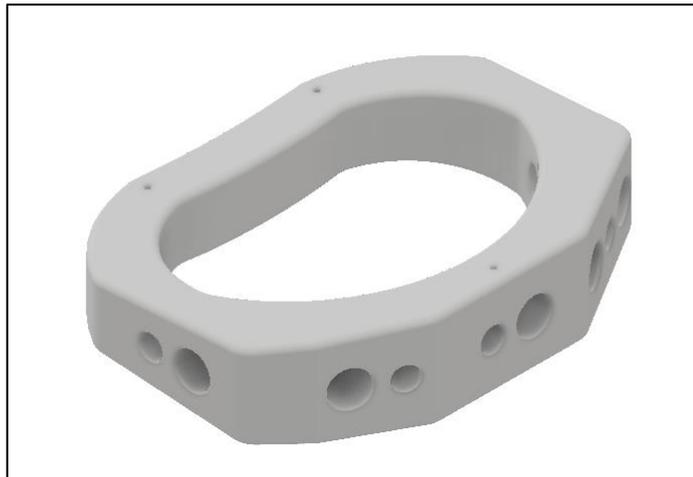
Modelo	Altura (mm)	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Ângulo
1	8	11	24	0°
2	14	11	24	0°

Fonte: Autor (2018)

2.3 Modelo de Espaçador Intervetebral Alif

Vale ressaltar que o espaçador intervertebral do modelo ALIF, também utiliza modelos comerciais e com as mesmas considerações do modelo PLIF, na Figura 5 ilustra o modelo 1 do espaçador intervertebral ALIF e com suas respectivas dimensões na Tabela 2.

Figura 5 – Espaçador intervertebral de modelo ALIF



Fonte: Autor (2018)

Na Tabela 2, apresenta dois modelos de espaçadores intervertebrais ALIF.

Tabela 2: Dimensões de espaçadores intervertebrais do modelo ALIF

Modelo	Altura (mm)	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Ângulo
1	8	33	25	8°
2	16	33	25	8°

Fonte: Autor (2018)

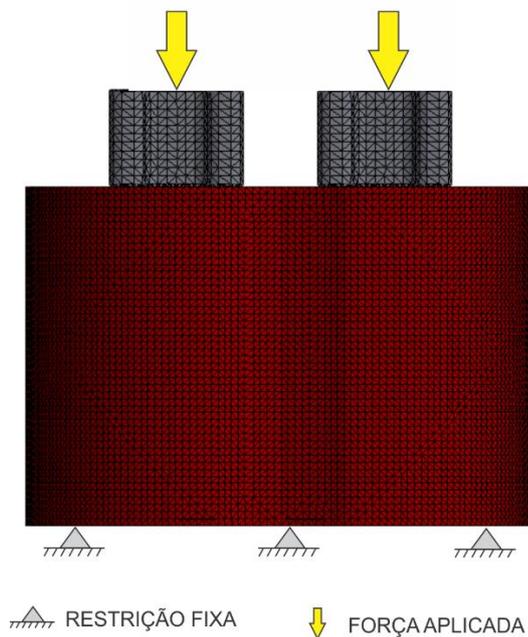
3. DESENVOLVIMENTO

Consiste em uma análise estática, que o próprio Autodesk Inventor Profissional 2019 tem suprimento para o recurso, denominado de análise de tensão.

Na Figura 6 abaixo, demonstra o modelo de espaçador intervertebral PLIF, com a malha de tetraedros, com a restrição geométrica e a força compressiva

atuante.

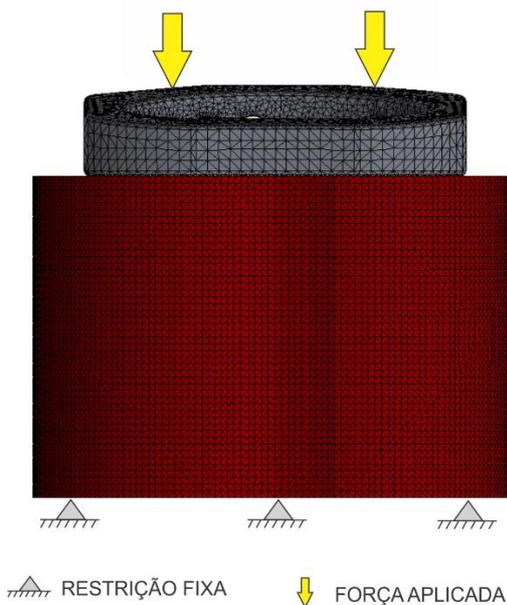
Figura 6 – Vista posterior da malha no modelo PLIF



Fonte: Autor (2018)

E na Figura 7 apresenta o espaçador intervertebral de modelo ALIF, com os mesmos parâmetros do anterior.

Figura 7 – Vista posterior da malha no modelo ALIF



Fonte: Autor (2018)

Aplicando a malha no programa, apresentou os seguintes resultados expressos na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados das malhas para os modelos PLIF e ALIF

Malhas para os modelos PLIF				
Modelo	Nós	Elementos	Tamanho médio dos elementos (mm)	Ângulo Máximo de giro
1	240967	144970	0,05	60°
2	286178	175749	0,05	60°
Malhas para os modelos ALIF				
Modelo	Nós	Elementos	Tamanho médio dos elementos (mm)	Ângulo Máximo de giro
1	232478	136572	0,05	60°
2	268703	161128	0,05	60°

Fonte: Autor (2018)

Também consiste em atribuir as propriedades dos materiais em cada peça, na Tabela 4 apresenta as propriedades mecânicas de cada peça.

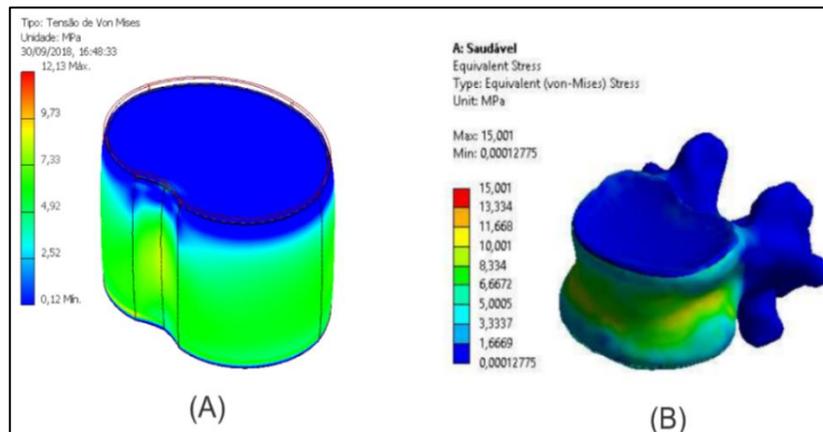
Tabela 4 – Propriedades mecânicas

Propriedades	Osso cortical	Osso trabecular	PEEK
Comportamento	Isotrópico	Isotrópico	Isotrópico
Módulo de Young (GPa)	12	0,4	3,9
Coefficiente de Poisson	0,3	0,3	0,4
Módulo de cisalhamento (Mpa)	0	0	
Densidade (g/cm ³)	1,8	1,38	1,35
Resistência ao escoamento (Mpa)	0	0	0
Resistência à tração (Mpa)	100	2	95

Fonte: Adaptado de (CARNEIRO, 2014), (MARCELINO, 2009) e (SHIMANO, 2001).

Para a validação do modelo proposto, foi realizado uma simulação com a mesma força compressiva de 800 N sem espaçadores intervertebrais indicado na Figura 8 (A), que comparado com a literatura Figura 8 (B) de Carneiro (2014), obteve valores da Tabela 5.

Figura 8 – Validação do modelo proposto



Fonte: Autor (2018)

Tabela 5 – Tabela de validação

Modelo	Tensão de Von Mises Máxima (Mpa)
Literatura	15,001
Proposto	12,13

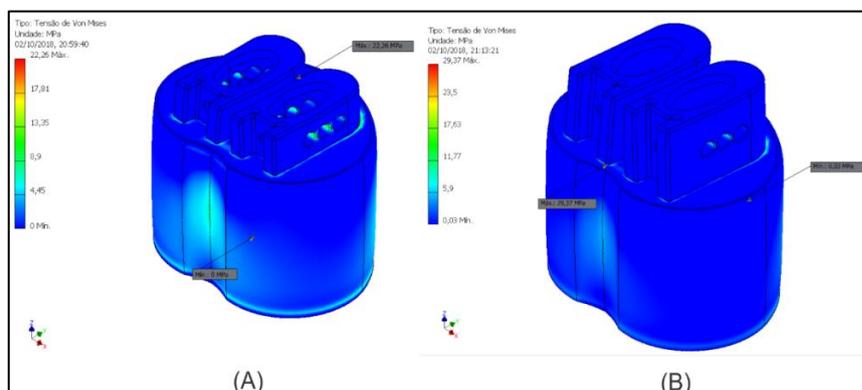
Fonte: Autor (2018)

Constatou que na Tabela 5, os valores de Tensão de Von Mises do modelo proposto chegaram próximo da literatura, tornando este modelo viável.

3.1 Resultados para o Modelo Plif

Para o modelo de espaçador intervertebral PLIF, na Figura 9 (A) demonstra a tensão de Von Mises com os dois espaçadores intervertebrais no modelo 1 e na Figura 9 (B) no modelo 2.

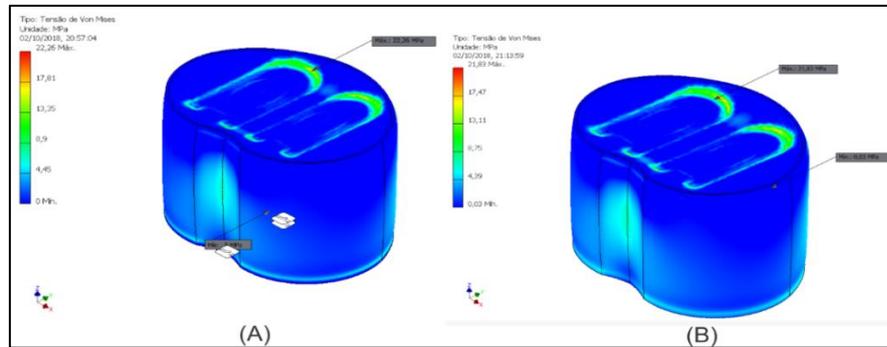
Figura 9 – Tensão de Von Mises no modelo PLIF



Fonte: Autor (2018)

Na região de contato osso-implante a tensão de Von Mises do modelo 1 na Figura 10 (A) e na Figura 10 (B) a tensão de Von Mises no modelo 2.

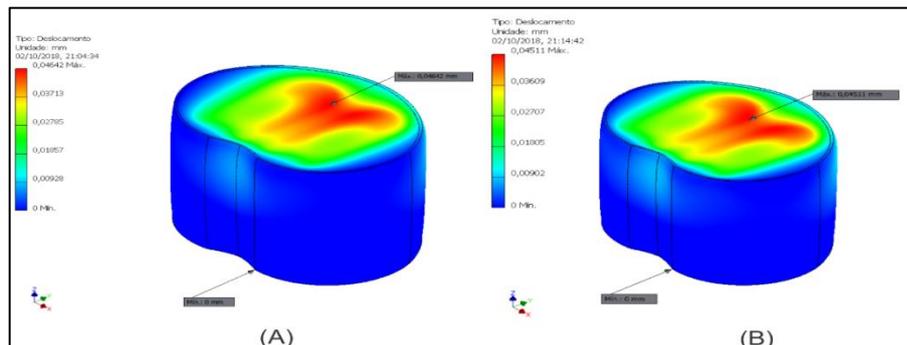
Figura 10 – Tensão de Von Mises no contato osso-implante do modelo PLIF



Fonte: Autor (2018)

E o deslocamento ocorrido no modelo 1 demonstrado na Figura 11 (A) e o deslocamento do modelo 2 na Figura 11 (B).

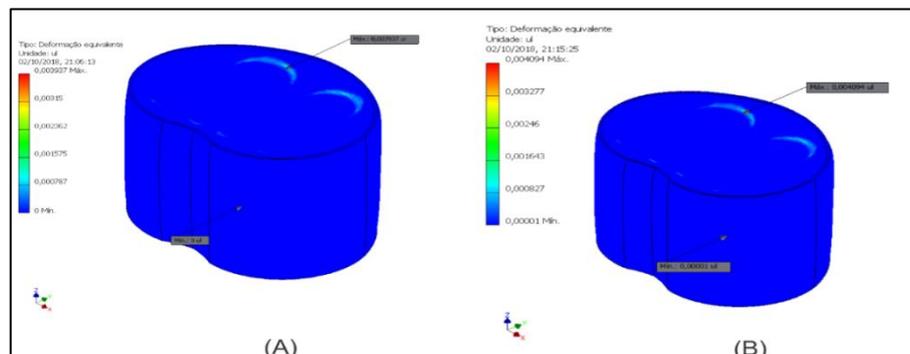
Figura 11 – Deslocamento no contato osso-implante do modelo PLIF



Fonte: Autor (2018)

Na Figura 12 (A) ilustra a deformação equivalente no modelo 1 e na Figura 12 (B) a deformação equivalente no modelo 2.

Figura 12 – Deformação equivalente no contato osso-implante do modelo PLIF

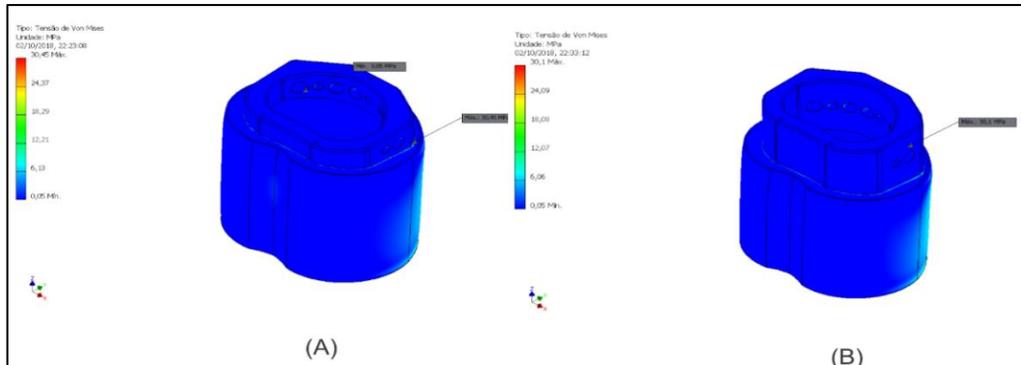


Fonte: Autor (2018)

3.2 Resultados para o Modelo Alif

Para o modelo ALIF, na Figura 13 (A) ilustra a tensão de Von Mises com um espaçador intervertebral no modelo 1 e na Figura 13 (B) no modelo 2.

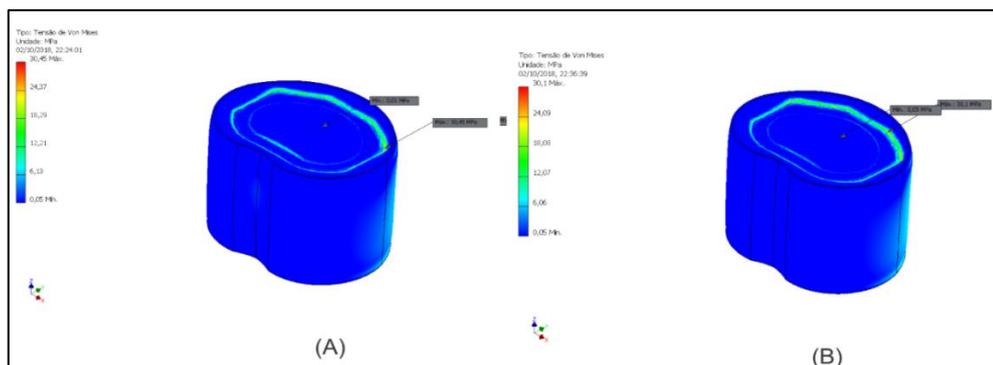
Figura 13 – Tensão de Von Mises no modelo ALIF



Fonte: Autor (2018)

Na região de contato osso-implante a tensão de Von Mises do modelo 1 na Figura 14 (A) e na Figura 14 (B) a tensão de Von Mises no modelo 2.

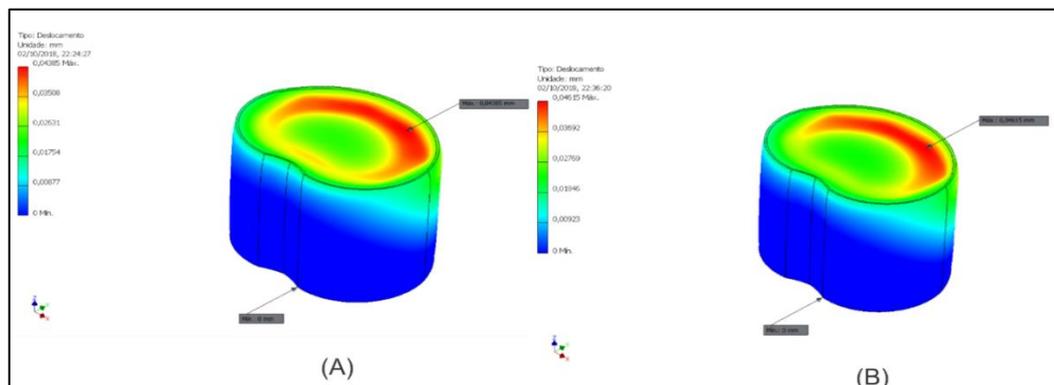
Figura 14 – Tensão de Von Mises no contato osso-implante do modelo ALIF



Fonte: Autor (2018)

E o deslocamento ocorrido no modelo 1 demonstrado na Figura 15 (A) e o deslocamento do modelo 2 na Figura 15 (B).

Figura 15 – Deslocamento no contato osso-implante do modelo ALIF

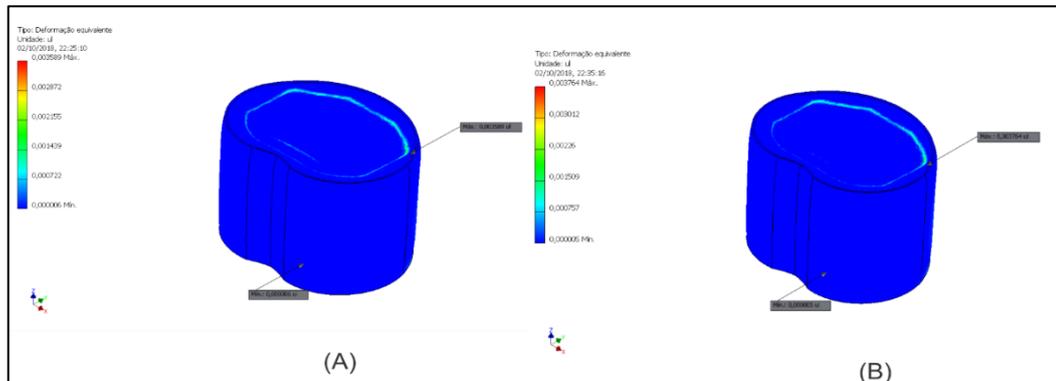


Fonte: Autor (2018)

Na Figura 16 (A) ilustra a deformação equivalente no modelo 1 e na Figura

16 (B) a deformação equivalente no modelo 2.

Figura 16 – Deformação equivalente no contato osso-implante do modelo ALIF



Fonte: Autor (2018)

3.3 Análise e Discussão dos Resultados

E na Tabela 6 demonstra os resultados para todos os modelos PLIF e ALIF, aplicando uma força compressiva de 800 N (SATO et al., 1999).

Tabela 6 – Resultados da simulação para carga compressiva de 800 N

Modelo de espaçador intervertebral PLIF				
Modelo	Tensão de Von Mises com espaçador (Mpa)	Tensão máxima de Von Mises no contato (Mpa)	Deslocamento equivalente (mm)	Deformação equivalente (ul)
1	22,26	22,26	0,04642	0,003937
2	29,37	21,83	0,04511	0,004094
Modelo de espaçador intervertebral ALIF				
1	30,45	30,45	0,04385	0,003589
2	30,1	30,1	0,04615	0,003764

Fonte: Autor (2018)

Sendo considerado os mesmos parâmetros de simulação, porém alterando a força compressiva para 2200 N de Sato et al. (1999), obteve os seguintes valores mostrado na Tabela 7.

Tabela 7 – Resultados da simulação para carga compressiva de 2200 N

Modelo de espaçador intervertebral PLIF				
Modelo	Tensão de Von Mises com espaçador (Mpa)	Tensão máxima de Von Mises no contato (Mpa)	Deslocamento Equivalente máximo (mm)	Deformação equivalente máximo (ul)
1	61,21	61,21	0,1276	0,01083
2	80,75	60,04	0,1241	0,01126
Modelo de espaçador intervertebral ALIF				
1	83,73	83,73	0,1206	0,009869

2	82,78	82,78	0,1269	0,01035
---	-------	-------	--------	---------

Fonte: Autor (2018)

De acordo com a Tabela 6 e 7, que resultou nos valores da simulação numérica com carga compressiva de 800 N e 2200N no modelo PLIF, onde a tensão de Von Mises com o espaçador no modelo 2 resultou em um acréscimo de aproximadamente 31 % comparado com o modelo 1, na tensão máxima de Von Mises no contato (interface) o modelo 1 comparado com o modelo 2 resultou num acréscimo de 1,96 %, para deslocamento equivalente máximo o modelo 1 obteve acréscimo de 2,9 % e deformação equivalente máxima decréscimo de 3,98 % comparado com o modelo 2.

Assim na Tabela 6 e 7, para o modelo de espaçador ALIF, a tensão de Von Mises com o espaçador no modelo 1 resultou num acréscimo de 1,16 % comparado com o modelo 2, já na tensão máxima de Von Mises no contato o modelo 2 comparado com o modelo 1 resultou num acréscimo de 1,16%, também para deslocamento equivalente máximo no modelo 2 acréscimo de 5,24 % e deformação equivalente máxima acréscimo de 4,87% comparado com o modelo 1.

Analisando ambas tabelas anteriores, sendo para uma força compressiva de 800 N e 2200 N, o modelo ALIF apresenta um acréscimo de tensão máxima de Von Mises no contato de aproximadamente 37,87 %, deslocamento equivalente máximo decréscimo de 2,87 % e deformação equivalente máxima decréscimo de 2,87 % comparado com o modelo PLIF, por conta disso o modelo PLIF apresentou ser a melhor opção em questão de menor tensão de contato ocorrida.

Também se conclui que modificando a altura dos espaçadores intervertebrais tanto para o modelo PLIF e ALIF, ocorreu pequenas diferenças entre os valores demonstrado na Tabela 6 e 7.

Para a validação do modelo proposto com a literatura, foi comparado a tensão de Von Mises máxima sem espaçador com a literatura, que está demonstrado na Tabela 5.

Na validação do modelo com espaçador intervertebral para o modelo PLIF e ALIF, com um range de força compressiva de 600 N a 2250 N (SATO et al., 1999).

De acordo com (ADAM et al., 2003) para o modelo PLIF, foi aplicado uma força de 620 N na simulação numérica por elementos finitos, onde resultou em uma tensão máxima de Von Mises no contato de 21,9 MPa, sendo próximo do valor determinado de 22,26 e 21,83 (MPa) na Tabela 6.

4. CONCLUSÃO

Com base nos conceitos e dados analisados, consegue-se compreender em geral, que a coluna lombar é uma estrutura complexa e tem por via utilizar modelagem dos elementos osso-implante por CAD e a simulação numérica por elementos finitos dos ensaios pelo Autodesk Inventor Profissional 2019, sendo o software uma ferramenta muito importante para compreender as tensões geradas entre o osso-implante, obtendo uma solução mais precisa e eficaz.

Com base nos dados levantados o modelo de espaçador intervertebral PLIF, apresentou melhores resultados e sendo indicado para esse tipo de procedimento cirúrgico, pelo motivo de ocorrer uma tensão de contato menor comparado com o modelo de espaçador intervertebral ALIF.

Vale ressaltar que são resultados preliminares de um trabalho maior, que serão analisados vários fatores como diferentes dimensões e ângulos, tanto para

modelos de espaçadores intervertebrais PLIF e ALIF. Com intuito de analisar, discutir e comparar os modelos propostos.

REFERÊNCIAS

ADAM, C.; PEARCY, M.; McCOMBE, P. ***Stress analysis of interbody fusion - finite element modelling of intervertebral implant and vertebral body***. Queensland University of Technology of Brisbane, 2003.

ANDRADE, S. C.; ARAÚJO, A.G.R.; VILAR, M. J. **“Escola de Coluna”: Revisão Histórica e Sua Aplicação na Lombalgia Crônica**. Rev bras reumatol, v. 45, n. 4, p. 224-8, 2005.

CARNEIRO, C. O. S. **Caracterização do comportamento mecânico de uma vértebra lombar: com e sem cimentação**. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2014.

GUERIN, H. L.; ELLIOTT, D. M. ***Structure and properties of soft tissues in the spine***. SPINE Technology Handbook, SM Kurtz and AA Edidin, eds., Elsevier, London, p. 35–62, 2006.

MARCELINO, L. **Tribologia de superfícies articulares protéticas**. Ed. Clínica Ortopédica da SBOT: Artroplastia Total do Quadril. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2009: 25-40.

McDONALD, K. et al. ***Development of a multi-scale finite element model of the osteoporotic lumbar vertebral body for the investigation of apparent level vertebra mechanics and micro-level trabecular mechanics***. Medical engineering & physics, 32(6), pp.653–661, 2010.

SATO, K.; KIKUCHI, S.; YONEZAWA, T. ***In vivo intradiscal pressure measurement in healthy individuals and in patients with ongoing back problems***. Spine, v.24, n. 23, p. 2468–74, 1999.

SHIMANO, M.M. **Histerese de fêmures de ratas submetidos a ensaio de flexão, em diferentes faixas etárias [dissertação]**. São Paulo: Universidade de São Paulo; 2001.

TALIA, A.; WONG, M.; LAU, H.; KAYE, A. ***Comparison of the different surgical approaches for lumbar interbody fusion***. Journal of Clinical Neuroscienc. 2015.

WANG, Y. et al. ***The osseous endplates in lumbar vertebrae: thickness, bone mineral density and their associations with age and disk degeneration***. Bone, 48(4), pp.804–9, 2011.

Análise de Falha de Uma Linha de Recalque de Água em uma Indústria do setor de Celulose e Papel



Guilherme Afonso da Silva Mendes¹ e Paulo Roberto Campos Alcover Junior²

RESUMO

Os sistemas industriais de fluidos, são construídos para satisfação de requisitos do processo, baseados na aplicabilidade dos equipamentos e suprimindo as necessidades de deslocamento de produtos. As bombas são máquinas que permitem o transporte de fluidos dentro de processos, comumente encontrados nas indústrias. As bombas centrífugas são mais utilizadas por oferecer estabilidade no bombeamento do produto, sem variações de pressão. Seu princípio de funcionamento utiliza de pás para transferência de energia mecânica para impulsionar o fluido. Se tratando de máquinas, assim como todas as outras, as bombas centrífugas apresentam limitações quanto a sua operação, a partir disso pode gerar falhas, causadas principalmente por funcionamento em condições fora dos limites de operação para tal processo. Portanto o presente trabalho tem como objetivo a análise de falha de uma linha de recalque de água em uma indústria de celulose e papel.

Palavras-chave: Linhas de Recalque; Bombas centrífugas; Análise de Falha.

ABSTRACT

Industrial fluid systems are built to meet process requirements, based on the applicability of the equipment, and meeting the needs of product displacement. The pumps are machines that allow the transport of fluids with in processes, only found in industries. Centrifugal pumps are the most used type because they offer stability in the product pumping, without pressure variations. Its operating principle uses blades for transfer of mechanical energy to boost the fluid. In the case of machines, as well as all others, the centrifugal pumps have fault points and problems, mainly caused by operating in conditions outside the operating limits for such a process. The before, the work has the objective of defining and describing the centrifugal pumps, through a bibliographic review.

Key-words: Repressionlines; Centrifugal pumps.

1. INTRODUÇÃO

Com o decorrer dos avanços tecnológicos e aprimoramento de processos se teve a necessidade de desenvolver equipamentos para transporte de líquidos de um ponto ao outro, para operações de necessidades básicas comuns como o abastecimento de água das casas, mas também para operações não usuais. Dentre as áreas requerentes de equipamento dessa

¹Acadêmico do curso de Engenharia Mecânica na FATEB – e-mail: <gguilhermeafonsomendes@hotmail.com>.

²Mestre em Engenharia Mecânica UTFPR– e-mail: <Paulo.alcover@hotmail.com >.

natureza encontramos desde as mais simples até as mais complexas, se referindo as condições de trabalho e do líquido a ser transportado.

Atualmente a indústria utiliza das máquinas de fluxo nas mais diversas aplicações, esses equipamentos oferecem uma variedade de tipos para melhor adequação as necessidades do processo. São divididas entre máquinas que bombeiam o fluido (bombas) que inserem energia ao fluxo, e máquinas que utilizam do fluido para transformação em energia mecânica (turbinas), retirando energia do fluxo.

Entre as bombas aplicadas para processos industriais a mais comum é a bomba centrífuga, que funciona impulsionando o fluido por meio de pás, que são movimentadas pelo rotor acoplado ao eixo. Esse tipo de bomba pode ser aplicado aos mais diversas áreas, dependendo somente de adaptações relativas ao material de seus componentes, para atendimento de requisitos como temperatura, abrasividade e pressão do processo. (GOUVEA, 2008)

Bombas centrífugas são largamente utilizadas, pois fornecem vantagens por operar em pressão uniforme, permite o bombeamento de fluxos multifásicos e tem um custo de manutenção baixo comparado a outros tipos de bomba.

Porém seu funcionamento pode apresentar alguns problemas específicos em operação, alguns deles causados por uso inadequado no sistema, ou por falhas e variações. (GOUVEA, 2008).

A análise de falhas apresenta-se como ferramenta de auxílio na manutenção e prevenção de paradas geradas por quebras de equipamento, utilizando a descrição da falha como objeto de estudo.

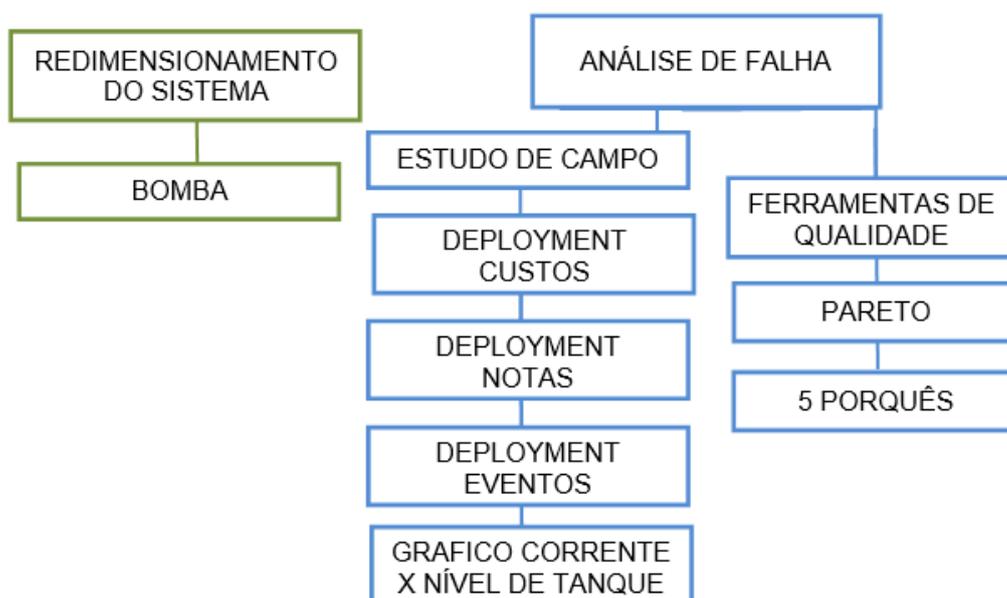
O objetivo do presente trabalho é analisar falhas de uma linha de recalque de água em uma indústria no setor de celulose e papel através da verificação do dimensionamento com o uso de ferramentas e métodos de engenharia para a identificação e solução dos problemas.

2. METODOLOGIA

A análise foi combinada com o relato do operador da bomba sobre o método utilizado para a operação da mesma. A partir da coleta de dados, as informações são aplicadas em ferramenta para estratificação, para tanto utiliza-se a ferramenta de Pareto de análise e priorização das causas a serem estudadas.

Após a estratificação e priorização das falhas, utiliza-se o método dos 5 porquês afim de encontrar através de uma série de questionamentos o problema raiz. Foi realizado dimensionamento da bomba. O fluxograma abaixo relaciona as etapas que serão realizadas com o âmbito de atingir as expectativas propostas nos objetivos desse trabalho.

Figura 1 – Fluxograma da metodologia de trabalho



Fonte: Dados do autor, 2018.

Para melhor entendimento do método utilizado no desenvolvimento do trabalho, são descritas abaixo as ferramentas aplicadas para tanto.

2.1 Análise de Falha

O sistema de bombeamento a ser analisado, consiste em uma bomba centrífuga horizontal, que transfere água de uma torre de estocagem, para uma segunda torre com maior capacidade.

A bomba trabalha em intervalos intermitentes, onde é acionada por um operador na sala de controle. Assim que atingido o nível requerido, é desligada pelo comando do operador na sala de controle.

Os danos aparecem na caixa de selagem, e no eixo, onde ocorre um deslocamento axial, afetando ao orçamento de manutenção e alocação de mão de obra.

Figura 2 – Bomba centrífuga danificada



Fonte: Dados do autor, 2018.

2.2 Dimensionamento do Sistema

Foi realizado levantamento do perfil topográfico da captação da água, medição do comprimento das tubulações de sucção e recalque.

Determinação de vazão e diâmetro da tubulação de recalque e sucção, assim como a altura manométrica, NPSH, rendimento e potência.

2.3 Estudo de Campo

2.3.1 Análise de Projeto da Bomba

Foi verificado projeto da bomba, suas características, dimensões, capacidades, variáveis de pressão e vazão da água de selagem da bomba na folha de dados do equipamento.

2.3.2 Deployments

Deployment é um método cuja função implica a Administração e Controle dos estabelecimentos, com o objetivo de analisar pontos individuais das áreas a ser melhoradas e os resultados de melhoramento dos desempenhos (PLEXUS, 2010).

Os deployments a serem analisados são, custos (em relação a custos com manutenção da bomba, notas (são os registros de manutenção no sistema da empresa), e eventos.

2.4 Ferramentas de Qualidade

Para levantamento e estudo de dados, serão utilizadas o Diagrama de Pareto e 5 porquês.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Bombas

As bombas são máquinas aplicadas para transporte de líquidos, utilizando-se de força motriz para realizar trabalho sobre o fluido (GOUVEA, 2008).

Segundo Alé (2011) as bombas são “aquelas que recebem trabalho mecânico e o transformam em energia de fluido (hidráulico)”.

Ferreira (2013) define bomba como “componente mecânico que move líquido de uma área para outra através do aumento da pressão do líquido.”

Pode-se ainda definir uma bomba como um transformador de energia, caracterizado pela interação do fluido com o elemento rotativo da máquina. (BRASIL, 2006).

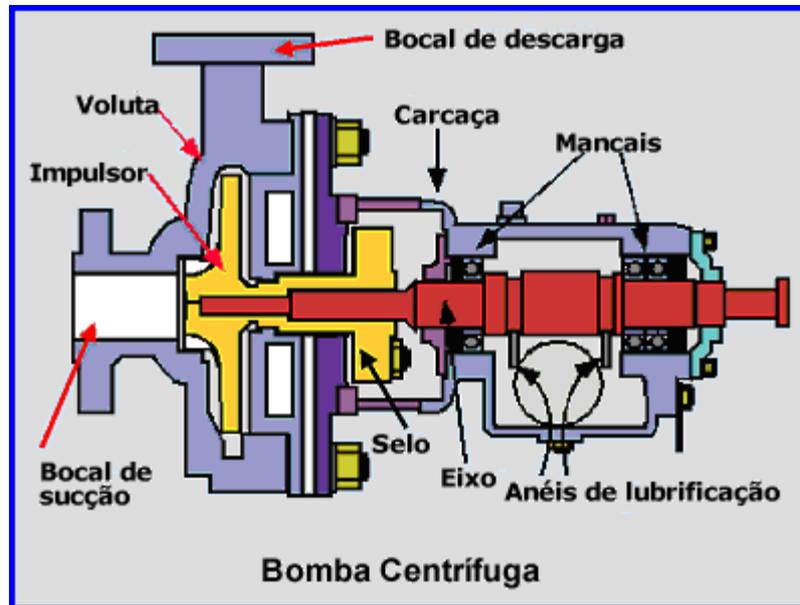
3.1.1 Bomba Centrífuga

As bombas centrífugas são constituídas por três partes fundamentais:

- Rotor ou Impelidor: é formado de pás responsável por impulsionar o fluido.
- Carcaça: contém o líquido, envolvendo o rotor, e dispõe de bocais de entrada (sucção) e saída (descarga) do fluido.

- Eixo: atravessa a carcaça, conecta-se ao rotor, fornece suporte e movimento rotativo.

Figura 3 – Bomba centrífuga



Fonte: technology-articles, 2018

A bomba centrífuga é considerada uma turbomáquina e apresenta como função principal o bombeamento de líquidos em geral. A força da bomba é gerada por uma energia externa, no caso um motor. A transferência dessa energia externa é realizada por rotores, que estão posicionados no interior da bomba, estes rotores atuam em uma rotação (girando), movimentando as pás. As pás por sua vez, transferem a energia mecânica recebida pelo rotor, para o fluido causando seu deslocamento e fazendo com que este esco continuamente pelo interior da bomba. (GOUVEA, 2008).

O fluido em transporte entra na bomba pelo bocal de sucção, onde é aspirado e forçado através de pás, o que aumenta significativamente a velocidade do fluido. Desta forma é encaminhado aos rotores, onde recebe energia potencial de pressão e então sai da bomba pelo bocal de recalque. Em razão da transferência de energia que acontece no interior da bomba, é possível elevar e transferir o fluido. (ALÉ, 2011)

O material para fabricação dos elementos da bomba centrífuga é variável, pois, dependendo do ramo de aplicação requer a utilização de componentes de diferentes materiais, considerando que para cada tipo de fluido o sistema de bombeamento deve ser adequado as características do produto e variáveis envolvidas no processo. Produtos que passam por variação de temperatura, ou mesmo químicos corrosivos, por exemplo, necessitam de bombas de materiais específicos para o bom funcionamento do sistema e preservação do equipamento.

3.1.2 Classificação de Bombas Centrifugas

A classificação das bombas centrífuga se dá em função do da direção do movimento do fluido. São divididas em:

- Centrifugas Radiais (puras): A movimentação do fluido acontece do centro para a periferia do rotor, no sentido perpendicular ao eixo da rotação;
- Centrifugas de Fluxo Misto: O movimento do fluido ocorre na direção inclinada (diagonal) ao eixo de rotação;
- Centrifugas de Fluxo Radial: O movimento do fluido ocorre paralelo ao eixo de rotação.

3.1.3 Problemas Relacionados a Bombas Centrífugas

As bombas centrífugas podem apresentar diversas falhas durante seu funcionamento, esses problemas podem ser relacionados a três fatores: falha no projeto da bomba, falha na montagem e/ou manutenção e condição de operação inadequada. Esse tipo de bombas apresenta menos falhas relacionadas à condição operacional se operam próximo à vazão do ponto de melhor eficiência. A operação abaixo ou acima da vazão de melhor eficiência pode ser a causa de problemas de bombas centrífugas (GOUVEA, 2008).

Problemas como ruído, vibração, cavitação, aquecimento excessivo, perda de eficiência, entre outros, podem ser identificados durante a operação da máquina. A eficiência da máquina é comprometida pelos desvios referentes as falhas na operação, essas devem ser monitoradas e prevenidas para a conservação do sistema.

4. RESULTADO E DISCUSSÕES

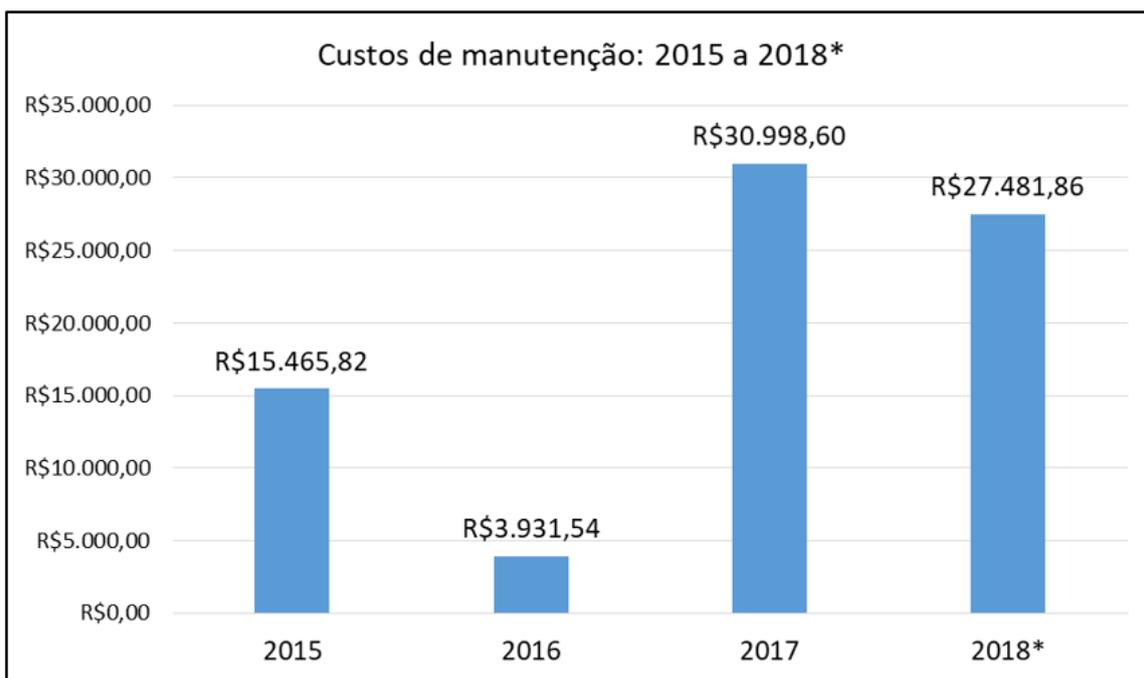
A bomba em estudo é descrita a seguir por meio das especificações e características do catalogo do equipamento, o qual opera na empresa "A".

- Fabricante da bomba: EMPRESA "B"
- Vazão projeto 937 m³/h
- Altura manométrica: 101,60 MCA
- Fluido: Água Branca (Água + massa celulósica)
- Tipo do rotor: Fechado
- Número de pás: 5 pás
- Material do rotor: Aço inox
- Diâmetro rotor projeto: 447,00 mm
- Diâmetro máximo do rotor: 479,00 mm
- Rotação: 1780 rpm
- Diâmetro de Recalque: 250 mm
- Diâmetro de sucção: 300 mm

4.1 Deployment de Custos

De acordo com a figura 4, pode-se identificar os custos de manutenção referente a bomba centrífuga, relacionando os 4 anos de operação.

Figura 4 – Deployment de custos Empresa “A”



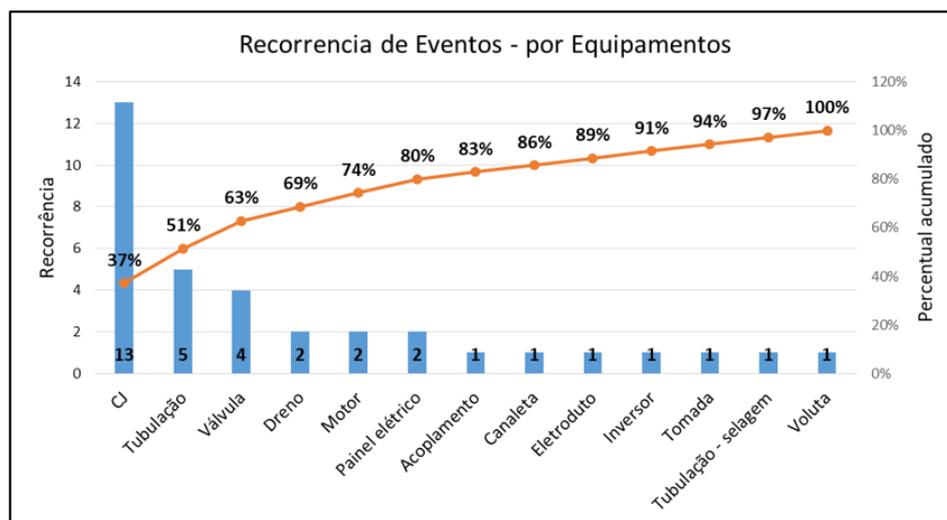
Fonte: Autor, 2018.

Baseando-se em um período de 4 anos de operação desta bomba a somatória dos custos são de R\$ 77.877,82. Ao analisar o gráfico, é possível notar que a empresa “A” obteve gastos significativos no período entre 2017 e 2018, em comparação com os anos anteriores.

4.2 Deployment de Notas

A figura 5 mostra através da análise de Pareto, a recorrência de eventos com a bomba centrífuga em estudo.

Figura 5 – Deployment de Notas Empresa “A”



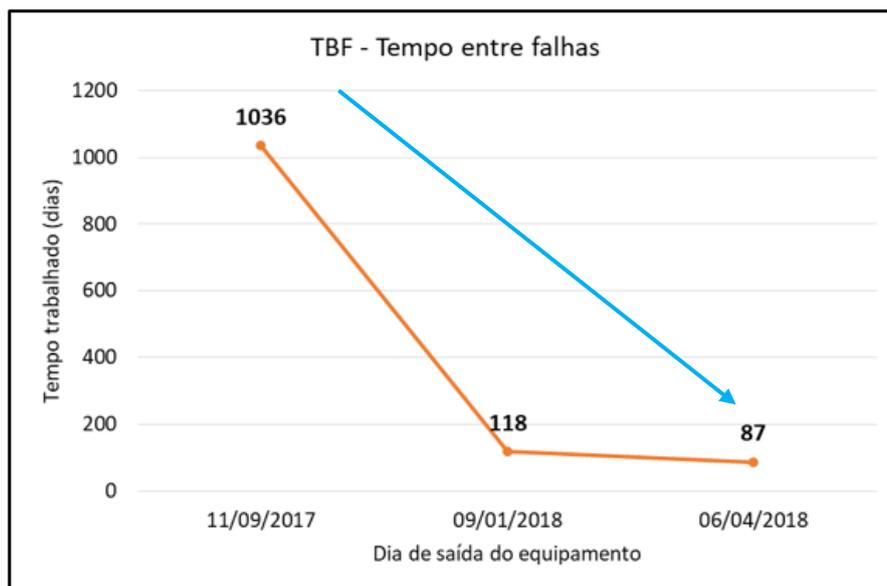
Fonte: Autor, 2018.

A partir da análise dos eventos de notas de manutenção, onde são analisadas todas as ocorrências de quebra da bomba, é possível identificar que o maior fator de quebras é o conjunto rotativo, onde apresenta 37% do valor agregado.

4.3 Deployment de Eventos

A figura 6 mostra o tempo entre falhas da bomba.

Figura 6 – Deployment de eventos Empresa “A”



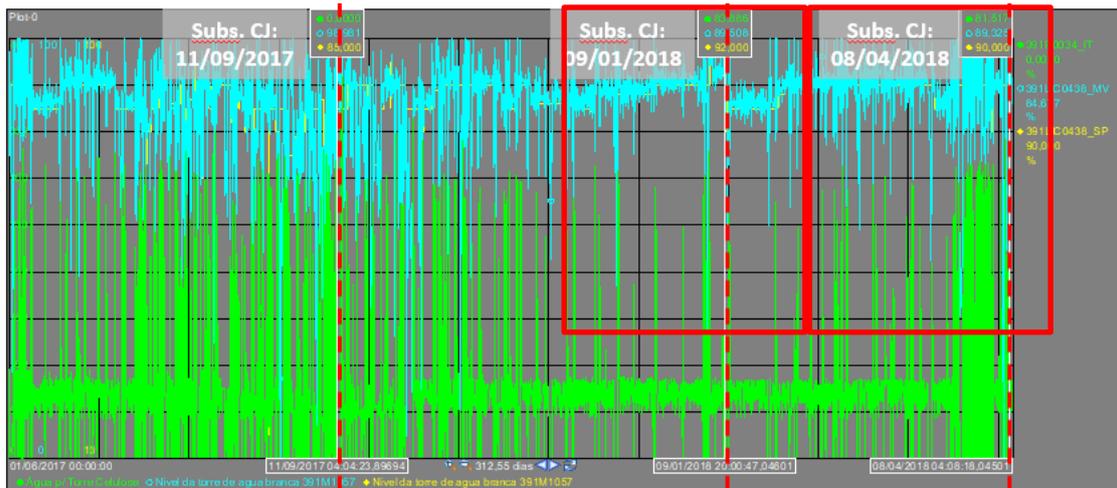
Fonte: Autor, 2018.

Analisando o deployment de eventos, nota-se que a primeira falha por conjunto rotativo tem um intervalo de 1036 dias, a segunda 118 e 87 dias para a terceira falha. O tempo de trabalho entre as falhas diminuem, significativamente no período entre a segunda e terceira falha.

4.4 Gráfico Corrente X Nível de Tanque

O gráfico corrente x Nível de tanque na figura 7 mostra que há variação de parada e reinício da bomba, entre as 3 substituições de conjunto rotativo. Em azul na legenda é o nível do tanque, e em verde a corrente para iniciar a bomba. Os intervalos de parada e reinício são maiores, comparados a primeira substituição.

Figura 7 – Gráfico Corrente x Nível de Tanque Empresa “A”



Fonte: Autor, 2018.

Analisando os deployments de notas, e eventos nota-se que desde a segunda falha a bomba apresentou maior tempo de pausas de operação, ou seja, maior número de paradas, e tempo sem operar. Também é possível notar que o tempo de vida útil do conjunto rotativo diminuiu drasticamente entre a segunda e terceira falha, e em ambas apresentaram vazamento pela bucha.

Aplicando as informações de campo, ao constatar as falhas e aplicar os dados na ferramenta dos 5 porquês como mostra na figura 8, concluímos que, devido o maior número de vezes em que a bomba esteve desligada, como pode ser notado no gráfico “Corrente x nível de tanque”, o retorno do fluido faz com que a coluna de água force o eixo repetidamente axialmente, danificando o anel de vedação da bomba.

Na linha de recalque não há nada que impeça a coluna de retornar, e que evite o retorno do fluido.

Figura 8 – 5 Porquês

FENÔMENO	PORQUE?	PORQUE?	PORQUE?	PORQUE?	PORQUE?
Quebra do conjunto rotativo devido contaminante	Vazamento no sistema de selagem da bomba	Desgaste prematuro de gaxetas e/ou luva de desgaste	Falta de fluido de selagem		
			Bucha com revestimento inadequado		
			Vibração elevada na caixa de selagem		
			Montagem sem elemento de vedação		
		Vazamento entre luva de desgaste e eixo	Deslocamento axial do eixo	Retorno de fluido na linha forçando repetidamente o eixo axialmente quando a bomba para, danificando o anel de vedação	Na linha não há sistema para impedir retorno de fluido.

Fonte: Autor, 2018.

Constatado o problema, foi instalado na linha, uma válvula de retenção, a fim de evitar o retorno de fluido.

Figura 9 – Válvula de retenção



Fonte: Dados do autor

Após a instalação da válvula não foi possível obter dados de operação e falhas da bomba devido ao período de tempo após a instalação ser muito curto para análises. Em 20 dias de operação a bomba não apresentou quebras, mas para a análise ser concreta, necessita de um período maior de tempo.

5. CONCLUSÃO

A bomba centrífuga do processo analisado transfere água branca de uma torre de estocagem e trabalha de maneira contínua, desligando automaticamente quando o nível do tanque é atingido. De acordo com os estudos e dados levantados, as variações no processo como os custos com manutenção, número de quebras, e tempo de operação útil da bomba aumentam quando também aumenta o período de inatividade da bomba. Assim que desativada a bomba, o fluido no percurso da tubulação retorna de maneira que o mesmo force o eixo da bomba axialmente, danificando o conjunto rotativo.

O estudo comprovou a importância da utilização das ferramentas da qualidade para a melhoria de processo. O método dos 5 porquês possibilitou a constatação da necessidade de instalação de uma válvula de retenção, a fim de impedir o retorno do fluido. Após a instalação da válvula não foi constatado quebras por deslocamento axial do eixo.

O estudo ressalta a importância do investimento na melhoria no processo, se tratando de um equipamento de grande porte e representatividade que impacta nos custos, principalmente de manutenção ou até mesmo de reposição do equipamento.

REFERÊNCIAS

ALÉ, José A. Villar. **Mecânica dos fluídos**: curso básico. Porto Alegre: PUCRS, 2011.

ALÉ, J. A. V. **Sistemas fluidomecânicos**: Sistema de bombeamento. Porto Alegre: PUC-RS, 2011.

BRASIL, Alex N. **Máquinas termohidráulicas de fluxo**. AGO, 2006.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. – 4. ed. – São Paulo: Atlas, 2002.

GOUVEA, Marcos Martins Rezende. **Estudo de confiabilidade em bombas centrífugas**. Campinas, São Paulo. DEZ, 2008

MACINTYRE, Archibald Joseph.; NISKIER, Julio. (Coord.). **Bombas e instalações de bombeamento**. 2. ed. rev. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

MATTOS, Edson Ezequiel de; FALCO, Reinaldo de. **Bombas industriais**. – 2º ed.- Rio de Janeiro: Interciência, 1998.



AUTOMAÇÃO DE BAIXO CUSTO DE UM PROTÓTIPO DE RESIDÊNCIA UTILIZANDO ARDUINO

Pablo Henrique Gomes¹, Eduardo Mappa²

RESUMO

A tecnologia tem como objetivo trazer agilidade, conforto, segurança e economia. Tendo em vista isso, o propósito deste trabalho é automatizar uma residência. O conceito de automação residencial vem em uma crescente por conta dos inúmeros benefícios como estes citados, agilidade, conforto, segurança e economia, além da praticidade disponibilizada que beneficia, entre outras, pessoas com doenças ou até mesmo deficiência, que não podem se locomover sempre que preciso para executar as mais simples tarefas. O trabalho mostra o estudo e a execução de um protótipo com fins didáticos de automação residencial de baixo custo, utilizando de uma casa em miniatura e um hardware denominado Arduino Uno, ethernet shield W5100, módulo relé de quatro canais, jumper's, resistências, lâmpadas, cooler, leds, e também um aplicativo que possibilitará o gerenciamento de equipamentos de baixa tensão dentro e fora de residências. Este sistema ocorrerá através de um dispositivo móvel. O arduino UNO utiliza a linguagem C++, o software desenvolvido trabalha juntamente com um controlador Arduino, programado para desempenhar as ações básicas da residência. O sistema também pode ser controlado através da internet, por dispositivos móveis, de qualquer lugar, até mesmo de longe da casa.

Palavras-chave: Automação Residencial; Controle; Arduino.

ABSTRACT

The technology aims to bring agility, comfort, safety and economy. In view of this, the purpose of this work is to automate a residence. The concept of residential automation comes in a growing, because number of benefits such as these, agility, comfort, safety and economy, besides the practicality available that benefits, among others, people with illness or even disability, who can not always move around which need to perform the simplest tasks. The work shows the study and execution of a prototype for didactic purposes of low-cost residential automation using a miniature house and a hardware called Arduino Uno, ethernet shield W5100, four-channel relay module, jumper's, resistors, lamps, cooler, leds, and also an application that will enable the management of low voltage equipment inside and outside homes. This system will occur through a mobile device. The Arduino UNO uses the C ++ language, the software developed works together with an Arduino controller, programmed to perform the basic actions of the residence. The system can also be controlled through the internet, by mobile devices, from anywhere, even from far from home

Key-words: Home automation; Control; Arduino.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente a busca por respostas práticas nas atividades de nosso cotidiano é

um desejo evidente. Os afazeres diários do homem tendem a ocupa-lo muito tempo, e com a demanda de tempo cada vez menor acaba interferindo em seu bem estar. Conforto e comodidade são importantíssimos em meio a uma rotina agitada, por isso a busca por novos métodos e inovações que afetem positivamente na vida pessoal do homem tem grande importância. A informática surgiu com intuito de auxiliar-nos nos diversos a fazeres: auxiliando, melhorando, controlando e servindo-nos em tudo o que for necessário. No inicio, quando os primeiros computadores foram criados devido ao custo do equipamento eram utilizados apenas por grandes empresas. Com o passar do tempo e o avanço tecnológico o custo foi barateando e foram sendo produzidos equipamentos melhores. Esta tecnologia se espalhou de tal forma em que hoje em dia é difícil citar uma área que a informática não esteja presente, desde um simples comercio até no complexo auxilio da engenharia e medicina.

Tendo em vista isto, continua-se a busca de novas inovações e tecnologia a fim de sofisticação, comodidade e segurança, auxiliado pelos computadores para facilitar e auxiliar a vida humana como novos sistemas inteligentes e integrados; desde os sistemas de monitoramento de transito, um sistema em um automóvel ate a automação de suas próprias residências, buscando assim maior segurança 24h e comodidade nas simples tarefas domesticas como, por exemplo, apagar uma luz do lugar onde está.

Este proveito é uma das mais relevantes características que devem ser amparadas pelos idealizadores de softwares que visam oferecer conforto e benefício ao usuário final. Segundo Roque (2008), domótica é a utilização simultânea da eletricidade, da eletrônica e das tecnologias da informação no ambiente residencial, permitindo realizar a sua gestão, local ou remota, e oferecer um vasta gama de aplicações integradas nas áreas da segurança, conforto, comunicação e gestão de energia.

A automação residencial é formada desde a ideia inicial da automação voltada para a área industrial que depois foi utilizada em edifícios comerciais. Por conta disso a automação ainda representa, para maioria das pessoas, uma ideologia de alto custo e isto é uma grande barreira a sua utilização em residências. Entretanto, é necessário encontrar e desenvolver novas formas que tornem a automação mais acessível. A tecnologia constantemente, e se evidencia a oportunidade de proporcionar conforto, economia e principalmente segurança. Pensando nisso, a ideia de automatizar uma residência tem como objetivo simplificar e facilitar diversas ações realizadas no dia-a-dia, tanto para pessoas comuns como também para pessoas com deficiência, que não podem se locomover para abrir uma janela, por exemplo. Tendo em vista nossa proposta de uma automação acessível são necessários alguns equipamentos, de preferência de baixo custo, como placas de Arduino, que são interligadas aos dispositivos automatizados da residência através de um servidor web.

A quantidade e variedade de dispositivos que podem ser automatizados em uma residência são enormes. Os dispositivos que o sistema apresenta são as luzes, condicionador de ar, portão eletrônico, sensores de temperatura, sensor de umidade, sensor de presença e alarme.

O objetivo deste artigo é Projetar, desenvolver e testar um protótipo

automatizado de baixo custo simulando algumas funções básicas existentes em uma residência possibilitando funções de controle por dispositivos móveis como smartphones.

Para o desenvolvimento deste protótipo, serão utilizados componentes prontos, como o Arduino UNO, que é um controlador lógico open source, que recebe informações, processa e retorna uma saída. Devido a limitação do Arduino, foi utilizado o modulo Ethernet Shield para aumentar funcionalidades, como nosso objetivo de colocar o controlador em rede ou até mesmo na internet, para ser acessado por uma aplicação na web. A programação da placa Arduino é feita através de uma IDE, facilitando a escrita de funcionalidades na placa. O sistema possui uma pagina de gerenciamento de usuários, onde pode ser feito todo o gerenciamento dos clientes do sistema e também uma pagina de dispositivos onde se gerencia todos os dispositivos instalados na residência e os que precisam ser adicionados. A página principal do sistema é o de painel de controle onde se concentra uma listagem de dispositivos que estão cadastrados e instalados para que possam ser controlados.

Por fim, o servidor web proporciona maior praticidade e uma comodidade maior, pois com esta funcionalidade pode-se assim controlar as funções a serem executadas sem necessariamente estar presente no local. Com essa tecnologia pode-se realizar tarefas do dia-a-dia da residência estando talvez viajando, além de contar com segurança e economia que a automação pode proporcionar. Para constatar todas as funcionalidades do projeto, foi construída uma maquete de madeira, onde foram implantados todos os dispositivos citados para automatizar, proporcionando um entendimento amplo da importância e utilidade da automação.

2. METODOLOGIA

2.1 Pesquisa Bibliográfica

A metodologia adotada, foi colher o máximo de informações relevantes sobre automação industrial. Para tanto, foi realizada uma extensa revisão bibliográfica relacionada ao tema em monografias, livros e revistas relacionadas ao tema além de dissertações de mestrado. Para Gil (2007, p. 17), pesquisa é definida como:

(...) procedimento racional e sistemático que tem como objetivo proporcionar respostas aos problemas que são propostos. A pesquisa desenvolve-se por um processo constituído de várias fases, desde a formulação do problema até a apresentação e discussão dos resultados.

Uma pesquisa parte de uma dúvida ou de uma pergunta sem resposta. Pesquisar é buscar a resposta pode ser para fim de conhecimento apenas ou pode ser um desejo de conhecer com objetivo de realizar algo de uma melhor maneira.

2.2 Desenvolvimento dos Hardwares

- Para o acionamento de lâmpadas, utilizar um relé ligado à rede elétrica da lâmpada e conectado ao arduino, que fará o acionamento deste;
- Para o acionamento de um portão automático será utilizado o próprio

mecanismo existente na placa do motor do portão. Ativada cada vez que é pressionada. E a chave nesse projeto vai ser outro relé conectado ao arduino.

- Para o acionamento do condicionador de ar, também será utilizado um relé conectado ao arduino, o mesmo será ajustado para ligar e desligar devidamente condicionado a temperatura no ambiente que será ilustrada pelo sensor instalado.
- Será utilizado também um sensor de chuva, conectado ao arduino e quando verificado a umidade no sensor envia um aviso no aplicativo desenvolvido para o usuário.

2.3 Desenvolvimento dos Softwares

- Foi utilizando a linguagem que o arduino opera a Wiring (Linguagem baseada em C/C++) para desenvolver os softwares que atuarão nos hardwares;
- Desenvolver uma pagina WEB na intranet de sua residência através do endereço de IP que interage com a informação disponibilizada pelo seu sistema.
- Criar um domínio, ou seja, uma pagina na internet e através dela redirecionar comandos para sua intranet possibilitando o controle da sua residência de qualquer lugar do mundo através da internet.
- Realizar testes operacionais dos hardwares e softwares a fim de se buscar uma melhor integração entre eles e uma confiabilidade tanto na segurança quanto na disponibilidade do sistema;
- Criar um protótipo em versão miniaturizada de uma residência e automatizá-la para poder realizar a exposição.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1 A Plataforma Arduino

O arduino foi originalmente projetado como um recurso para auxiliar os estudantes no ensino, mas em 2005 ele foi comercialmente lançado por Massimo Banzi e David Cuartielles, tornando-se um produto de sucesso entre fabricantes e estudantes devido a sua fácil utilização e a durabilidade que ele proporciona (MONK, 2013).

O arduino é um dispositivo formado principalmente por 2 componentes básicos: a placa arduino, que é o elemento de hardware utilizado para construir seus objetos e a IDE (Integrated Development Environment) do arduino, que é um programa executado no computador por onde escrevemos o código (chamado de sketch) e que fará o upload para a placa arduino. (BANZI, 2010).

O arduino é um pequeno computador capaz de processar informações de

dispositivos e componentes externos conectados a ele através das suas entradas e saídas de acordo com o que programamos. Também conhecemos o arduino como plataforma de computação física ou embarcada, isto é, um dispositivo de hardware com um sistema de software interagindo com o ambiente (MCROBERTS, 2011). Existem diversas placas de arduino e todas utilizam a mesma linguagem para ser programada, mas a versão UNO é a mais utilizada disparado e a maioria usa as mesmas conexões com o ambiente externo, o que permite usar qualquer modelo facilmente (MONK, 2013). Tanto o software como o hardware do arduino é de fonte aberta a qualquer pessoa, isso quer dizer que tanto os códigos como os esquemas e também os projetos podem ser usados livremente por qualquer um e para qualquer propósito (MCROBERTS, 2011).

3.2 O Sistema Proposto

O sistema de automação residencial neste projeto será composto por um conjunto de componentes de hardware e software que se comunicam por meio da web utilizando o Arduino acoplado à Ethernet Shield. O sistema será integrado via Web, onde todas as ações partirão de uma página na internet. Os sensores serão responsáveis por informar e receber a mudança de estado, como variações na temperatura do cômodo ou ligar de uma sirene pelo sistema de segurança. A Ethernet Shield será responsável pela comunicação dos sensores com a web, enquanto o Arduino UNO irá centralizar todas as regras do sistema e processar todos os comandos conforme os acionamentos.

3.3 Tecnologia Utilizada

A ideia do trabalho é realizar o desenvolvimento de um sistema em um microcontrolador chamado Arduino UNO juntamente com Ethernet Shield. O projeto será desenvolvido em uma IDE (Ambiente de Desenvolvimento Integrado) próprias do Arduino utilizando a linguagem Wiring baseada em C/C++. O sistema Web será responsável por receber as solicitações dos usuários e encaminhar para o Arduino UNO, que irá processar e acionar os atuadores de acordo com as necessidades dos usuários.

3.3.1 Arduino Uno

Existem varias versões do arduino, a utilizada neste projeto será o arduino UNO, conforme ilustrado na figura 1.

Figura 1 – Arduino UNO



Fonte: multilógica shop (2015).

O modelo mais popular e talvez o mais dúctil seja o arduino Uno. O que torna esse sistema incrível é que podemos modelar qualquer coisa no arduino e posteriormente transformar em algo permanente, precisando somente retirar o microcontrolador da placa e inseri-lo em uma placa de circuito própria (MCROBERTS, 2011). O que diferencia o arduino Uno das versões anteriores é que o Uno utiliza um controlador USB diferente, alcançando uma comunicação mais rápida com o computador e a facilidade na instalação do drive (MONK, 2013). O tabela 1 apresenta as especificações do arduino Uno.

Tabela 1 - Características Arduino UNO

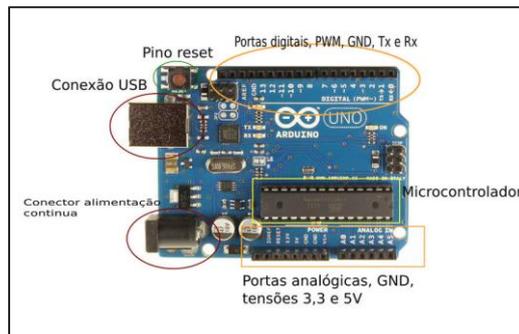
Microcontrolador	ATmega328
Tensão de funcionamento	5V
Tensão de entrada (recomendado)	7-12V
Tensão de entrada (limites)	6-20V
Pinos digitais E / S	14 (6 oferecem saída PWM)
Pinos de entrada analógica	6
Corrente DC por Pinos E / S	40 mA
Corrente DC para 3.3V	50 mA
Memória Flash	32 KB
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Velocidade do relógio	16 MHz

Fonte: adaptado de multilógica shop (2015).

Do pino 0 ao pino 13 são considerados pinos digitais de entradas e saídas. Esses pinos podem ser usados de acordo com a programação que for elaborada. Já do outro lado do arduino Uno, tem 6 pinos analógicos que são usados somente como entrada de dados, que são do 0 ao 5 e recebem valores de tensão de algum sensor ligado a ele e os transforma em um número entre 0 e 1023. Dos 14 pinos digitais, 6 podem ser utilizados como saídas analógicas que são os pinos: 3, 5, 6, 9, 10 e 11 (Banzi, 2010).

O Arduino Uno tem varias facilidades para troca de informações com um computador, outro Arduino ou outros microcontroladores. O ATmega328 fornece comunicação serial, que está disponível nos pinos digitais 0 (RX) e 1 (TX). O ATmega16U2 fornece comunicação serial através da USB e aparece como uma porta COM virtual para o software no computador. O firmware 16U2 usa os drivers COM USB padrão e nenhum driver externo é necessário. O software Arduino inclui um monitor serial que permite que dados simples de texto sejam enviados do computador para a placa Arduino. Os LEDs RX e TX da placa piscam quando os dados estão sendo transmitidos através do chip USB-to-serial e conexão USB para o computador (Arduino.cc, s.d.). Estas características estão exemplificadas na figura 2.

Figura 2 – Blocos do arduino



Fonte: multilógica shop (2015).

3.3.2 Considerações Elétricas do Arduino

O Arduino UNO pode ser alimentado através da conexão USB ou com uma fonte de alimentação externa. A fonte de alimentação é selecionada automaticamente. A placa pode operar com um fornecimento externo de 6 a 20V. Se fornecido com menos de 7V, no entanto, o pino de 5V pode fornecer menos de cinco volts e a placa pode ser instável. Se usar mais do que 12V, o regulador de voltagem pode superaquecer e danificar a placa.

O intervalo recomendado é de 7 a 12V. Os pinos de alimentação são os seguintes, de acordo com (arduino, 2018): VIN. A tensão de entrada para a placa Arduino quando se está usando uma fonte de alimentação externa (ao contrário de 5V a partir da conexão USB ou outra fonte de alimentação regulada). Você pode fornecer tensão por este pino ou, se o fornecimento de tensão através da tomada de energia, acessá-lo através deste pino. 5V.

Este pino gera um tensão de 5V regulada pela placa. A placa pode ser alimentada com energia a partir da tomada de energia DC (7 - 12V), o conector USB (5V), ou o pino VIN da placa (7-12V). Uma fonte de 3,3V gerado pelo regulador on-board onde a corrente máxima é de 50 mA

Cada pino pode fornecer ou receber um máximo de 40 mA e tem um resistor pull-up interno (desconectado por padrão) de 20-50 kOhms. Além disso, alguns pinos têm funções específicas: 30 Serial: 0 (RX) e 1 (TX); Série 1: 19 (RX) e 18 (TX); Série 2: 17 (RX) e 16 (TX); Série 3: 15 (RX) e 14 (TX). Usados para recepção (RX) e de transmissão de dados em série (TX) TTL. Pinos 0 e 1 também são ligados aos pinos correspondentes do ATmega16U2 USB-TTL chip serial.

Interrupções: Estes pinos podem ser configurados para ativar uma interrupção de um valor baixo, uma borda de subida ou queda, ou uma mudança de valor. Pinos 2, 3, 18, 19, 20 e 21.

PWM: Os pinos de 2 a 13 e de 44 a 46 fornecerem saída PWM de 8 bits. SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS) Estes pinos suportam comunicação SPI utilizando a biblioteca SPI. Os pinos SPI também são divididos no cabeçalho ICSP, que é fisicamente compatível com o Uno. LED: Há um LED conectado ao pino digital 13. Quando o pino é de HIGH, o LED está ligado, quando o pino é LOW, ele está desligado.

3.3.3 Linguagem de Programação

O Arduino utiliza uma linguagem de programação simples, adaptada da

linguagem Processing, que é chamada de Wiring. Para se criar sketches para a placa arduino é necessário um programa rodando em um computador e esse programa é chamado de IDE (Integrated Development Environment). Com isso você pode escrever e compilar seu programa no arduino. A programação do arduino é feita em ciclos e pode ser basicamente dividida nas etapas a seguir (Banzi, 2010): Conectar a placa a uma porta USB do computador; Escrever o código na IDE para dar vida à placa; Fazer o upload (o carregamento) desse código (sketch) para o arduino através da conexão USB, aguardando alguns instantes a sua reinicialização; E por fim, o arduino irá executar o sketch escrito;

4. MATERIAIS UTILIZADOS PARA DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

Para a elaboração do projeto, foi necessário fixar um orçamento para compra dos materiais que seriam utilizados na construção da ideia “Casa Inteligente”. Para a execução do protótipo deverá ser adquirido itens fundamentais para a formação concreta das funcionalidades deste projeto, tais como:

- Placa Arduino UNO;
- Protoboard de 400 pinos;
- Ethernet Shield W5100;
- Relé de 4 canais;
- Resistência;
- Leds de 5 mm;
- Cooler de 5 v, corrente contínua;
- Sensor de presença;
- Sensor de umidade;
- Sensor de temperatura;
- Servo motor;

4.1 Ethernet Shield

O Ethernet Shield representado pela figura 3 é um componente que se baseia no chip WIZnet Ethernet W5100 que proporciona acesso à rede (IP) nos protocolos de controle de transmissão (TCP) e protocolo de data gramas de usuário, UDP (SILVA, 2014). Esta extensão é muito utilizada por conta das informações acessíveis e claras dispostas em comunidades da internet, tais como Ethernet Library e SD Library. Ele é compatível tanto com o Arduino Uno e MEGA e possui um espaço para cartão micro SD, que pode ser utilizado para armazenar arquivos que usualmente possam ser utilizados na rede.

O Arduino Ethernet Shield permite que um Arduino seja conectado à Internet. Ele é baseado no chip Wiznet W5100 que fornece uma biblioteca de rede (IP) que suporta tanto TCP como UDP. A biblioteca Ethernet serve para escrever programas que se conectem a internet através deste shield. Este shield se conecta ao arduino por barras de pinos empilháveis, mantendo o layout e permitindo que outro shield se encaixe por cima. Há também um slot para cartões micro-SD que pode ser utilizado para armazenar arquivos que estejam disponíveis na rede. (MULTILOGICA SHOP, 2015).

Figura 3 – Ethernet shield

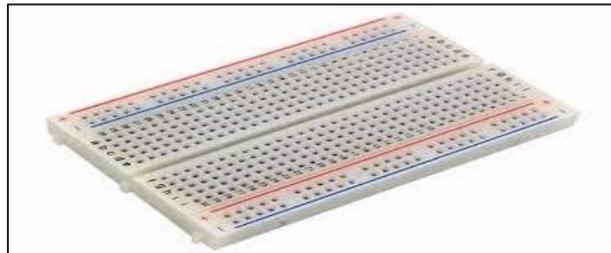


Fonte: Multilógica shop (2015).

4.2 Protoboard

A protoboard é muito usada, pois não necessita solda, ou seja, é reutilizável. Isto torna mais fácil de usar para a criação de protótipos temporários. A utilização de uma protoboard em montagem com projetos de Arduino torna viável a montagem de projetos mais complexos. A ligação de circuitos é feita através de jumpers, que são utilizados para ligar temporariamente componentes eletrônicos na protoboard. A faixa central tem o tamanho específico para componentes menores. Geralmente uma protoboard possui quatro matrizes, mas este número pode variar (JACQUET, et al, 2011). Conforme ilustração na figura 4.

Figura 4 – Protoboard



Fonte: Flipeflop (2018).

4.3 Mini Cooler

A temperatura em uma residência é um dispositivo essencial e que possui uma demanda enorme diante as pessoas que pretendem automatizar sua residência. O sistema de ventilação é uma funcionalidade que pode ser adaptado em qualquer ambiente da casa dependendo das exigências do cliente. No projeto, para simular o sistema de condicionador de ar, foi utilizado um mini cooler de computador ativado conforme comandos disponibilizados na página WEB. A figura 5 ilustra um mini cooler que representa o condicionador de ar no projeto.

Figura 5– Mini cooler



Fonte: Eletrogate (2018).

4.4 Servo Motor

O servo motor é um motor rotativo com possibilidade para posicionamento angular. Composto por um motor acoplado a um sensor de posição. O servo motor será utilizado no projeto para ser utilizado na automação de um portão eletrônico, ligado ao Arduino e programado com o tempo e precisão exata. (KOLLMORGEN, 2012). A ilustração 6 apresentada é a imagem de um servo motor, onde trabalha para movimentação do portão eletrônico.

Figura 6 – Servo Motor

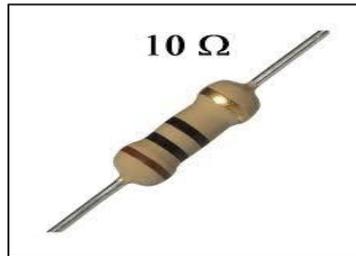


Fonte: Electronicwings (2018).

4.5 Resistores

Os resistores servem para atrapalhar a passagem de correntes, desta forma um pouco da tensão fica retida no mesmo. Um resistor dimensionado de maneira ideal é quando permanece constante independente da tensão e corrente que circula. O valor do resistor, ilustrado pela figura 7, pode ser facilmente identificado analisando os anéis de cores que apresenta em torno dele, ou então utilizando um ohmímetro, que é um instrumento de medição de resistores (JACQUET, et al, 2011).

Figura 7 - Resistor



Fonte: Baú da eletrônica (2018).

4.6 LEDES 5 Mm

Led é um componente eletrônico semicondutor, ou seja, um diodo emissor de luz (L.E.D = Light emitter diode), mesma tecnologia utilizada nos chips dos computadores, que tem a propriedade de transformar energia elétrica em luz. (LABORATORIO DE ILUMINAÇÃO, 2015). O raio laser é formado por partículas de luz concentradas e Emitidas em forma de um feixe contínuo. “Essa luz é canalizada com a ajuda de espelhos para formar um feixe”. (JOKURA, 2015)

Leds no qual foram mostrados na figura 8, são componentes eletrônicos semicondutores da mesma tecnologia utilizada nos chips dos computadores, possuem a propriedade de transformar energia elétrica em luz. O LED atua diferente da maneira que atua as lâmpadas convencionais que utilizam filamentos metálicos, radiação ultravioleta, dentre outras. No LED, a transformação de energia elétrica em luz ocorre na matéria. É um componente do tipo bipolar, ou seja, com dois terminais, sendo um anodo e outro catodo. Dependendo de como for polarizado, permite ou não a passagem de corrente elétrica e conseqüentemente a geração ou não de luz. No protótipo serão utilizados LEDES para simular a iluminação da maquete.

Figura 8 – 3 LEDES



Fonte: thenscaler (2018).

4.7 Sensores

Abaixo, estão expostos os sensores que serão utilizados no projeto.

Sensor RFID - A identificação por RFID trata-se de um sistema que utiliza ondas de rádio para transferir dados de uma etiqueta eletrônica, conhecida como tag RFID, que pode estar introduzida em um objeto, seja um cartão, um chaveiro, entre outros. (USINAINFO, 2015).

Sensor LDR - O Resistor dependente de luz ou fotoresistência (LDR) é um Componente eletrônico passivo do tipo resistor variável, ou seja, sua resistência varia conforme a intensidade da luz que incide sobre ele. Este sensor é comumente utilizado na iluminação pública. (USINAINFO, 2015).

4.7.1 Sensor de Presença

O sensor de presença é um pequeno dispositivo de fácil integração e comunicação à plataforma Arduino. Ele é responsável pelo monitoramento de pessoas em um ambiente, com um alcance limitado, mas sendo bem posicionado em um local estratégico poderá ser acionado quando detectar uma pessoa ou objeto que esteja em movimento. (REBESCHINI, 2012). Abaixo é apresentada a imagem de um Sensor de Presença Pir Infravermelho que detecta movimentos e dispara o buzzer. A figura 9 a seguir mostra um sensor de movimento.

Figura 9 – Sensor de presença

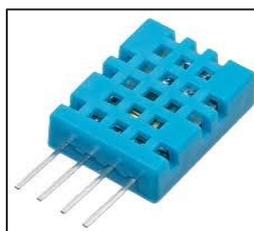


Fonte: Flipeflop (2018)

4.7.2 Sensor de Temperatura e Umidade

O Sensor DHT11 é definido como sendo “um sensor de temperatura e umidade que permite medir temperaturas de 0 a 50 Celsius, e umidade na faixa de 20 a 90%. Sua faixa de precisão para temperatura é de 2 graus e de umidade 5%”. (USINAINFO 2015, online). Este sensor será utilizado no protótipo para acionamento do sistema de ventilação além de avaliar e mostrar os valores de temperatura e umidade. A figura 10 ilustra o sensor DHT11.

Figura 10 – Sensor DHT11

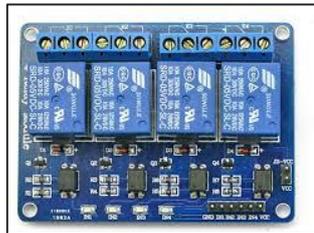


Fonte: Baú da eletrônica (2018).

4.8 Relé de 4 Contatos

Este módulo relé 5V com 04 canais, conforme figura 11, permite integração dos microcontroladores e o arduino. Com as saídas digitais pode controlar com o relé cargas maiores e dispositivos como motores AC/DC, corrente alternada, corrente contínua, respectivamente, eletroímãs, solenoides, lâmpadas incandescentes e eletrodomésticos (SILVA, 2014). Este módulo elimina todo aquele trabalhoso circuito de acionamento com transistores, relés, conectores, leds e diodos.

Figura 11 – Modulo relé com 4 contatos



Fonte: arduinoecia (2018).

5. RESULTADOS

A automação residencial tem se tornado acessível aos brasileiros de diferentes faixas de renda. Na verdade, a partir de R\$ 6 mil reais são possíveis incrementar os ambientes com alguns recursos do gênero, como o controle automático de iluminação e de persianas, por exemplo. Mas se o orçamento permitir um projeto sofisticado pode atingir a cifra até dos R\$ 100 mil, quantia que garante mordomias de acordo com especialistas. (MARQUES, 2015).

O custo ainda é relativamente alto, conforme a opção ou necessidade do cliente. Atualmente este custo está com uma média de 3% do valor da casa para automação. O sistema proposto neste artigo leva em consideração o baixo custo de implementação e manutenção. Para automatizar algumas funções de uma casa pelos estudos feitos será necessário cerca de 8% do valor caracterizado anteriormente, se o cliente estiver disposto a desenvolver a solução. A cotação estimada dos dispositivos que irão ser utilizados para essa implementação sairá por volta de R\$ 456,75, como mostrado na tabela 2.

Tabela 2– análise de custos

DISPOSITIVOS	LOJA 1	LOJA 2	VALOR ESCOLHIDO
Arduino UNO	R\$ 145,00	R\$ 129,00	R\$ 129,00
Cabo IR	R\$ 53,00	R\$ 48,00	R\$ 48,00
Cabos de alimentação	R\$ 58,90	R\$ 68,00	R\$ 58,90
Ethernet Shields + Protoboard	R\$ 78,00	R\$ 90,00	R\$ 78,00
Lâmpadas de LED	R\$ 29,99	R\$ 24,70	R\$ 24,70
Mini Cooler 5V	R\$ 25,00	R\$ 18,99	R\$ 18,99
Placa com 6 relés	R\$ 27,99	R\$ 56,00	R\$ 27,99
Resistores	R\$ 15,47	R\$ 21,90	R\$ 15,47
Sensor de presença	R\$ 28,00	R\$ 32,00	R\$ 28,00
Sensor DHT11 Temperatura e Umidade	R\$ 10,80	R\$ 12,00	R\$ 10,80
Servo Motor	R\$ 17,50	R\$ 16,90	R\$ 16,90
VALOR TOTAL			R\$ 456,75

Fonte: O autor (2018).

4. CONCLUSÃO

Este trabalho mostra que a Domótica oferece ferramentas para tornar os lares mais confortáveis, seguros, práticos e eficientes, assim como, contribuir valorosamente para a população pensando além de conforto em necessidade para pessoas com dificuldade de locomoção e portadores de necessidades especiais a um custo relativamente baixo. A crescente oferta de produtos de fácil utilização, intuitiva e interativa, aplicada à Domótica, está facilitando cada dia mais o acesso a essa tecnologia. Este trabalho visou também apresentar o desenvolvimento de um sistema web de baixo custo, que automatize os processos residenciais, com utilização dos microcontroladores Arduino UNO e Ethernet Shield. De acordo com o conteúdo exposto, observa-se que o mercado de automação residencial está em constante ascensão. Está comprovado que é possível automatizar funções básicas de uma residência sem ter que desembolsar muito para isto, pois, além da variedade de preços dos equipamentos, logicamente que este valor estipulado pode variar pois cada projeto tem sua particularidade e complexidade própria.

REFERÊNCIAS

ALVES, José Augusto; MOTA, José. **Casas Inteligentes**. Lisboa: Centro Atlântico, 2003.

Angel, P. M. **Introduccion a la domotica**. (1993).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL. **Tudo sob Controle**. Revista Lumière, jun. 2004.

BANZI, M. **Primeiros Passos com o Arduino**. 1. Ed. São Paulo: Novatec, 2011.

BATBUS e EIB **Disputa pelo Padrão do BUS de Instalações**, Revista Eletricidade Moderna nº 232, São Paulo, 1993.

BEGHINI, L. B. **Automação Residencial de baixo custo por meio de dispositivos móveis com sistema operacional Android**. 2013. Monografia (Curso de Engenharia Elétrica com ênfase em Eletrônica) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia Elétrica, São Carlos, 2013.

BRAGA, L. C. **Estudo de aspectos de eficiência energética de edificações com abordagem de automação predial**. UFMG. Belo Horizonte, p. 165. 2007.

BOLZANI, C.A.M. **Residências Inteligentes**. 1. Ed. São Paulo: livraria da Física, 2004.

ECHELON CORP., **LONWORKS Products**, Palo Alto, 1994

GOMES, Victor Z. Ferreira. **A Domótica como instrumento para a melhoria da qualidade de vida dos portadores de deficiência**. João Pessoa, 2010.

JACQUET, H.A.P. et al. **Introdução ao Arduino: Conceitos Gerais e Programação.2011**. Fundação Universidade Federal do Mato Grosso do Sul – Faculdade de Computação (FACOM), Campo Grande, 2011.

KOLLMORGEN. **SERVO MOTORES**. Disponível em . Acesso em: 17 de setembro de 2018

McRoberts, M. **Arduino Básico**. São Paulo, SP: Novatec. (2011).

Monk, S. **Programação com Arduino >>começando com sketches**. Porto Alegre, RS: bookman editora Ltda(2013).

MULTILOGICA SHOP. **Arduino ethernet shield R3**. (2012).

Pazos, F. **Automação de Sistemas & Robótica**. (R. Reinprecht, Ed.) Rio de Janeiro: Axcel Books do Brasil (2002).

ROQUE, Eng. António. **Introdução a domótica**. Publicado na Revista O Eletricista, nº1 Jul, Ago e Set de 2002.

SENA, D. C. S. **Automação residencial**. UFES. Vitória, p. 21. 2005.

SILVA, F. A. C. **Automação Residencial com Integração do Arduino e SO Android: Um estudo de Caso**, 2014. Monografia (Curso de Ciência da Computação) – UNISAL, Centro Universitário Salesiano de São Paulo, Lorena, 2014.

USINAINFO. **Sensor RFID**. Disponível em:. Acesso em: 15 de setembro 2018.

WERNECK, S. **Domótica: União de arquitetura e tecnologia da informação na edificação residencial urbana**. Rio de Janeiro, 1999.



DESIGN E SIMULAÇÃO DOS MOVIMENTOS DE UM BRAÇO ROBÓTICO DE 4 GRAUS DE LIBERDADE

Matheus Adriano Godoy Ramos¹, Kevin Mauricio Menon Ribeiro²

RESUMO

O desenvolvimento tecnológico vem sendo cada vez mais um ponto de grande importância, não apenas por inovar, mas por facilitar a vida humana e propor recursos viáveis em diversas áreas de concentração. O presente trabalho visa relacionar a robótica industrial com a tecnologia de simulação a partir da simulação de movimentos de um braço robótico de 4 graus de liberdade criado no software Autodesk Inventor. O estudo apresenta um manipulador de pequeno porte, para fins didáticos e com uma estrutura que o possibilita não apenas ser simulado, mas também ser impresso em impressora 3D para posterior programação dos movimentos das juntas, com a utilização de servo motores. Além disso, o conteúdo abordado permite ao leitor compreender como se comportam o deslocamento angular, a velocidade angular e a aceleração angular ao programar um braço robótico para executar movimentos específicos.

Palavras-chave: Braço robótico; Simulação; Inovar.

ABSTRACT

Technological development is becoming increasingly important, not only for innovating, but for facilitating human life and proposing viable resources in various areas of concentration. The present work aims to relate industrial robotics with simulation technology from the simulation of movements of a robotic arm with 4 degrees of freedom created in Autodesk Inventor software. The study presents a small manipulator, for didactic purposes and with a structure that allows it not only to be simulated, but also to be printed in 3D printer for later programming of movements of the joints, with the use of servo motors. In addition, the content covered allows the reader to understand how angular displacement, angular velocity, and angular acceleration behave when programming a robotic arm to perform specific movements..

Keywords: Robotic arm; Simulation; Innovate.

1. INTRODUÇÃO

A robótica pode ser definida como o estudo, planejamento e uso de sistemas robóticos para fabricação. Os robôs usualmente são utilizados para realizar tarefas inseguras, arriscadas, repetitivas e desconfortantes, como por exemplo: manuseamento de materiais, montagem, alguns tipos de soldagem, carga de ferramentas de máquinas e funções de descarga, pintura, pulverização, entre outros (KATO, 2015).

Nesse âmbito, de acordo com Graig (2017) há sobretudo dois tipos de robôs:

¹ Acadêmico do curso de Engenharia Mecânica na FATEB – e-mail: <matheus_agr1997@hotmail.com>.

² Professor do curso de Engenharia Mecânica na FATEB – e-mail: <eng.kevin.mmr@gmail.com>.

um robô de serviço e um robô industrial. O robô de serviço é um robô que atua de forma parcial ou totalmente autônoma para executar serviços pertinentes para o bem-estar das pessoas e dos equipamentos, excluindo as operações de manufatura. O robô industrial, em contrapartida, é oficialmente definido pela ISO como um manipulador multifuncional controlado automaticamente e programável em três ou mais eixos.

Os robôs industriais que atualmente são muito utilizados em indústrias são criados e projetados para mover materiais, peças, ferramentas ou dispositivos especializados através de movimentos preestabelecidos, programados para operar diferentes tarefas. Um sistema de robôs industriais contém não apenas robôs industriais, mas também dispositivos e/ou sensores essenciais para o robô realizar suas tarefas, bem como sequenciar ou monitorar interfaces de comunicação (CABRAL, 2013).

A partir desse grande avanço tecnológico, para acompanhar as grandes exigências, principalmente relacionadas à precisão e velocidade na execução de tarefas, fez-se necessário o desenvolvimento de técnicas de controle capazes de identificar a trajetória do manipulador a fim de obter êxito no posicionamento do órgão terminal. A técnica mais utilizada é a cinemática inversa que é um processo pelo qual os ângulos das juntas de um atuador são calculados a partir da posição em que se deseja colocar o órgão terminal. O cálculo desses ângulos possibilita a construção de sistemas de controle tendo no seu desenvolvimento as matrizes jacobianas, em conjunto com as pseudo-inversas (PINHEIRO, 2013).

Contudo, não somente a cinemática inversa é importante nos projetos relacionados aos robôs, mas também o estudo do comportamento das variáveis deslocamento, velocidade e aceleração durante o movimento automatizado das juntas, o qual será analisado no decorrer desse trabalho.

2. METODOLOGIA

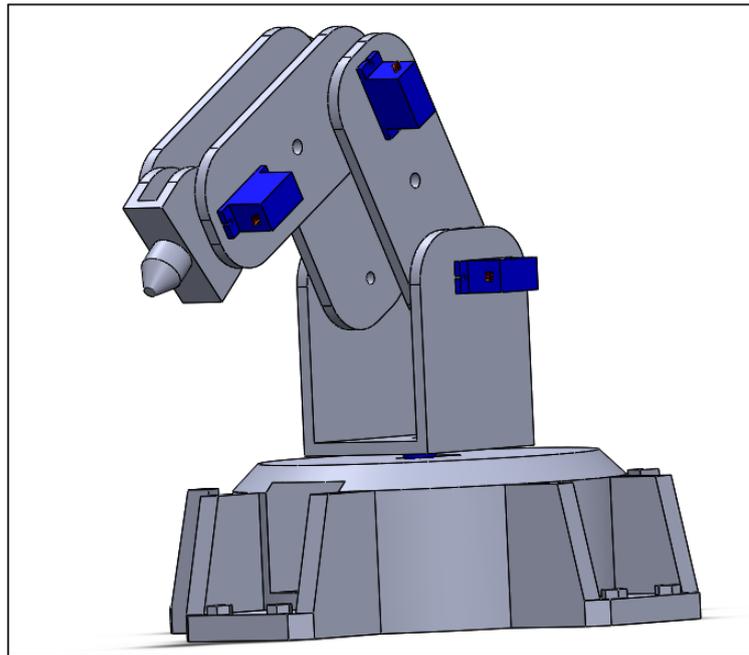
A metodologia consistiu em duas etapas, apresentadas a seguir.

2.1 Construção das Peças

A primeira etapa foi a construção das peças no software Autodesk Inventor. Essa etapa consistiu em criar o design do manipulador robótico, levando em consideração que o mesmo será futuramente impresso em impressora 3D para sua programação.

Pensou-se em um braço leve com no máximo 1,5 kg (uma vez que o intuito é a construção de um braço robótico de baixo custo para fins didáticos), com 4 graus de liberdade, além de possuir um suporte e um órgão terminal que possa ser trocado conforme a aplicação. Com base nessas considerações, suas medidas são de um braço de pequeno porte, a base possui um diâmetro externo de 150 mm; o elo 2 (conectado diretamente com a base) possui um comprimento de 85 mm; os elos 3 e 4 possuem ambos um comprimento de 120 mm; e o elo 5 (elo conectado ao órgão terminal) possui um comprimento de 34 mm. Vale ressaltar que os elos 3 e 4 são compostos pela união de duas peças como mostra a Figura 1.

Figura 1 – Braço Robótico projetado no *software* Inventor



Fonte: Autor, 2018.

Essa estrutura com 5 elos possibilita que o braço execute um movimento rotacional em 4 juntas, sendo, portanto, um braço de 4 graus de liberdade.

2.2 Simulação

A segunda etapa baseou-se na simulação. O intuito principal desse manipulador robótico é ser utilizado para movimentar objetos após sua impressão, porém, primeiramente desejou-se simular seus movimentos no software Autodesk Inventor para analisar como suas juntas se comportam, isto é, a partir de um movimento específico qual será o deslocamento, a velocidade e a aceleração angular em função do tempo.

Primeiramente, tomou-se como base o braço estático com as seguintes condições iniciais:

- Elo 1 (base) – Posicionado a 0° em relação ao eixo horizontal;
- Elo 2 – Posicionado a 90° em relação ao elo 1;
- Elo 3 – Posicionado a 150° em relação ao elo 2;
- Elo 4 – Posicionado a 90° em relação ao elo 3;
- Elo 5 – Desconsiderado a angulação deste para a simulação em questão.

Uma vez que o braço esteja posicionado a próxima etapa resumiu-se em inserir “motores ocultos” nas juntas especificando os deslocamentos angulares desejados, para que as mesmas possam efetuar os movimentos, essa condição é possível a partir da ferramenta “Estudo de movimento”. A Tabela 1 apresenta os deslocamentos que cada junta irá realizar durante uma trajetória de 5 segundos.

Tabela 1 – Deslocamentos angulares das juntas em função do tempo

Tempo (s)	Junta 1	Junta 2	Junta 3	Junta 4
0	0	0	0	0
1	9,3	20	10	0
2	31,5	10	-10	0
3	58,5	0	-30	0
4	80,6	-10	-10	0
5	90	-20	10	0

Fonte: Autor, 2018.

Vale ressaltar que os deslocamentos angulares apresentados na Tabela 1 partem todos da sua própria origem (0°), logo, percebe-se que não foi atribuído movimentos para a junta 4, a mesma não varia sua angulação do começo ao fim da simulação. Outra observação é que para as juntas 2 e 3 foram estabelecidos 5 movimentos diferentes partindo da inércia até o instante de 5 segundos (cada um com duração de 1 segundo), diferentemente da junta 1, para a qual estabeleceu-se apenas um movimento partindo desde o repouso até o instante de 5 segundos. Essas considerações justificam o porquê de os valores da junta 1 apresentarem um comportamento diferente das demais.

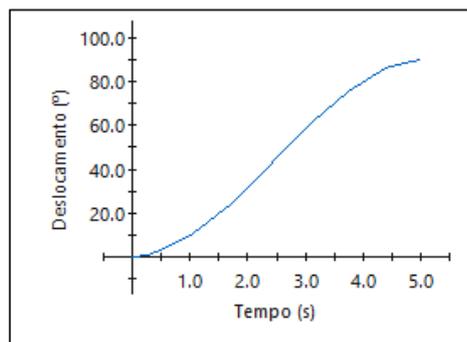
3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após a simulação dos movimentos das juntas obteve-se os dados disponibilizados pelo software. Como mencionado anteriormente, a junta 1 percorre uma trajetória angular sem alterar o sentido, uma vez que especificou-se apenas um comando de movimento, de 0° até 90° . Caso fossem especificados 5 movimentos para a junta 1 a partir de 0° até 90° , o deslocamento não seria contínuo, ou seja, a junta estacionaria por alguns milissegundos para iniciar o próximo movimento, causando dessa forma, uma aceleração e desaceleração a cada novo movimento.

3.1 Análise do Comportamento da Junta 1

As Figuras 3, 4 e 5 apresentam os gráficos de deslocamento, velocidade e aceleração em função do tempo para a junta 1, obtidos a partir da simulação.

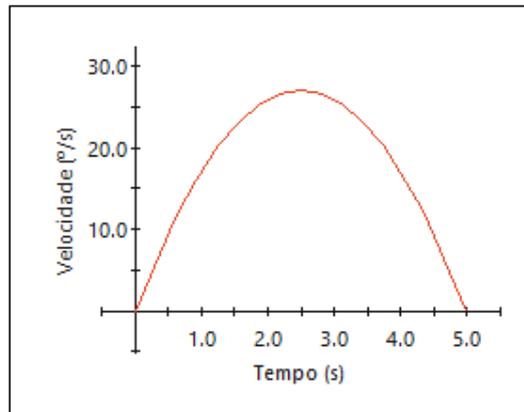
Figura 2 – Deslocamento angular da junta 1



Fonte: Autodesk Inventor, 2018.

Percebe-se pela Figura 3 que o comportamento da junta é equivalente a um movimento real, visto que ao partir da inércia a velocidade varia de acordo com o tempo, gerando uma curva não linear de deslocamento.

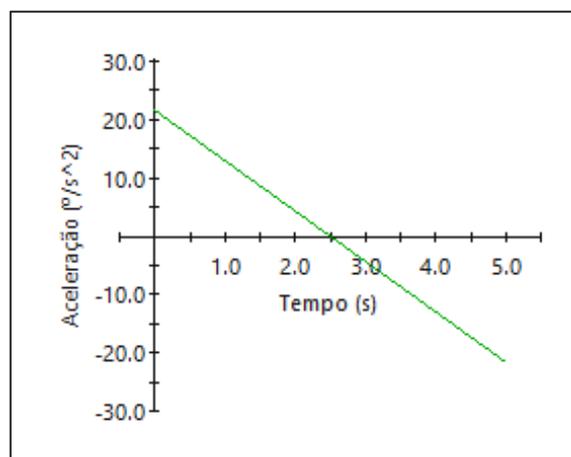
Figura 3 – Velocidade angular da junta 1



Fonte: Autodesk Inventor, 2018.

Pela Figura 4 verifica-se que a maior velocidade é atingida no meio do trajeto, isso ocorre devido ao movimento ser realizado em um curto espaço de tempo e, portanto, a junta tende a acelerar até atingir o tempo médio e após isso desacelerar até completar o movimento estabelecido.

Figura 4 – Aceleração angular da junta 1



Fonte: Autodesk Inventor, 2018.

Com base na Figura 5 fica inteligível o que foi mencionado anteriormente. A junta tem sua aceleração máxima no início e final da trajetória, mudando o sentido logo que é atingido a velocidade máxima.

A seguir a Tabela 2 apresenta os valores de deslocamento, velocidade e aceleração obtidos a partir dos gráficos das Figuras 3, 4 e 5.

Tabela 2 – Deslocamento, velocidade e aceleração para a junta 1

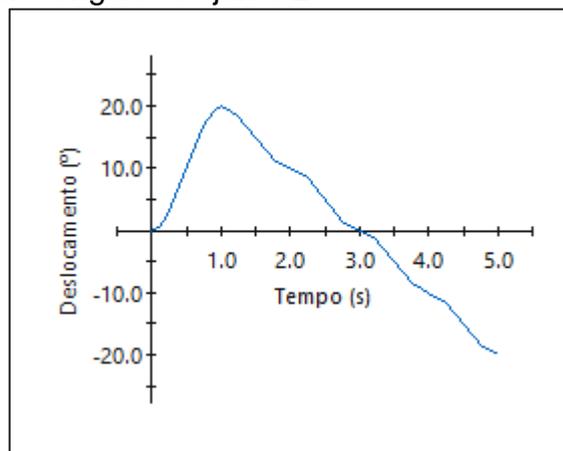
Tempo (s)	Deslocamento (°)	Velocidade (°/s)	Aceleração (°/s ²)
0	0	0	21,55
1	9,30	17,27	12,95
2	31,45	25,93	4,30
3	58,50	25,93	- 4,30
4	80,60	17,27	- 12,95
5	90	0	- 21,55

Fonte: Autor, 2018.

3.2 Análise do Comportamento da Junta 2

As Figuras 6, 7 e 8 apresentam os gráficos de deslocamento, velocidade e aceleração em função do tempo para a junta 2, obtidos a partir da simulação.

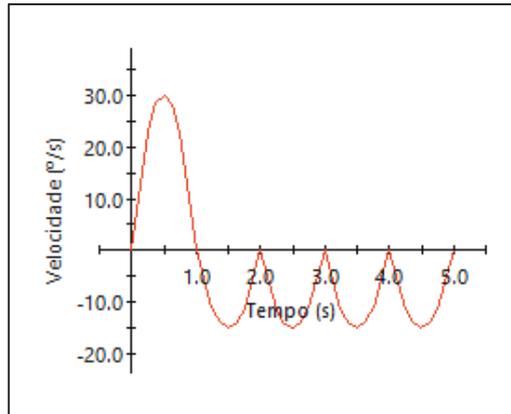
Figura 5 – Deslocamento angular da junta 2



Fonte: Autodesk Inventor, 2018.

Percebe-se pela Figura 6 que o fato de definir 5 movimentos diferentes durante o trajeto da junta fez com que a mesma não se deslocasse linearmente, mesmo quando o movimento seguinte mantém o mesmo sentido, como é o caso dos movimentos que vão desde o instante 1 até o instante 5. Esse fato acontece porque a cada início e fim de movimento há uma aceleração e desaceleração, respectivamente.

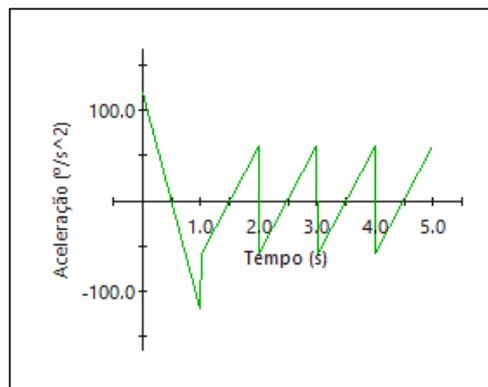
Figura 6 – Velocidade angular da junta 2



Fonte: Autodesk Inventor, 2018.

Pela Figura 7 verifica-se que há picos de velocidade durante a trajetória dessa junta em consequência da realização de um movimento por vez, gerando dessa forma, uma ligeira parada entre os movimentos. Nota-se também que a maior velocidade é atingida no intervalo de tempo onde o deslocamento requerido é maior, exigindo, dessa forma, uma velocidade maior durante esse período.

Figura 7 – Aceleração angular da junta 2



Fonte: Autodesk Inventor, 2018.

Com base na Figura 8 observa-se que nos instantes em que velocidade atinge o valor máximo para cada movimento a aceleração é nula. Matematicamente descobre-se o instante em que há a velocidade máxima derivando a equação da mesma e igualando a 0, uma vez que a derivada da velocidade é equivalente a aceleração compreende-se que os valores apresentados estão coerentes com a realidade.

A seguir a Tabela 3 apresenta os valores de deslocamento, velocidade e aceleração no início e fim de cada movimento, obtidos a partir dos gráficos das Figuras 6, 7 e 8. Nota-se que a velocidade é nula em todos pontos, devido a ligeira parada da junta para executar o próximo movimento.

Tabela 3 – Deslocamento, velocidade e aceleração para a junta 2

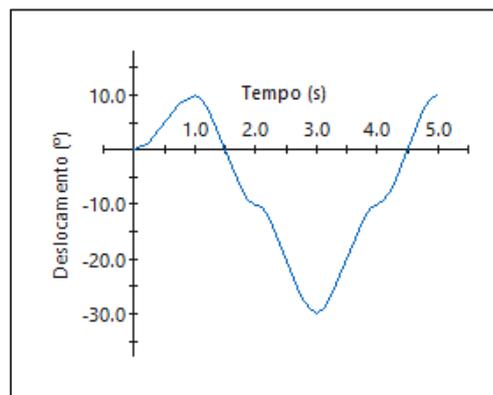
Tempo (s)	Deslocamento (°)	Velocidade (°/s)	Aceleração (°/s ²)
0	0	0	120
1	20	0	- 120
2	10	0	60
3	0	0	60
4	-10	0	60
5	-20	0	60

Fonte: Autor, 2018.

3.3 Análise do Comportamento da Junta 3

As Figuras 9, 10 e 11 apresentam os gráficos de deslocamento, velocidade e aceleração em função do tempo para a junta 3, obtidos a partir da simulação.

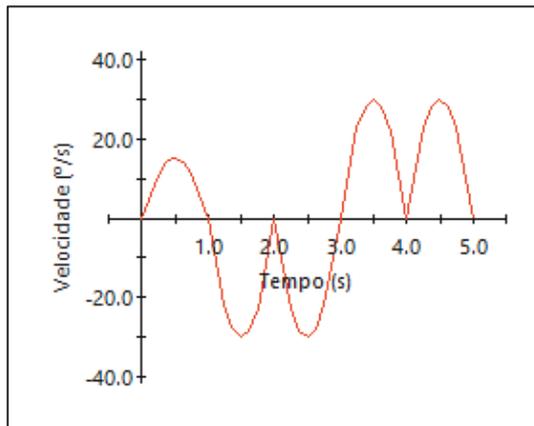
Figura 8 – Deslocamento angular da junta 3



Fonte: Autodesk Inventor, 2018.

Constata-se pelo gráfico da Figura 9 que, os deslocamentos seguem a mesma fundamentação dos realizados pela junta 2, isto é, a cada segundo foi solicitado um novo movimento, fazendo com que a curva apresente oscilações durante o trajeto. A diferença é o fato de, nesse caso, a junta inverter o sentido duas vezes.

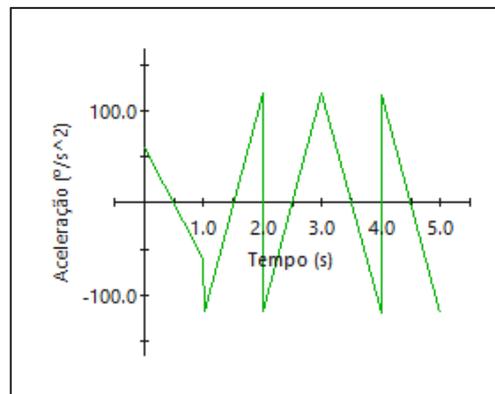
Figura 9 – Velocidade angular da junta 3



Fonte: Autodesk Inventor, 2018.

Da mesma forma, no gráfico da Figura 10 a velocidade segue o padrão apresentado no tópico anterior, onde a velocidade máxima de cada movimento é atingida no meio do trajeto. Para a junta 3, entretanto, a velocidade máxima do percurso como um todo ocorre em 4 situações, onde há um deslocamento angular de 20 graus durante 1 segundo.

Figura 10 – Aceleração da junta 3



Fonte: Autodesk Inventor, 2018.

Em relação à aceleração durante os movimentos da junta 3 pela Figura 11 verifica-se que no instante de 1 segundo, logo após efetuar o primeiro movimento, a aceleração é comutada com dois valores distintos, apresentando uma aceleração negativa de 60 °/s e 120 °/s. Tal fenômeno justifica-se pelo fato de a junta estar realizando um movimento que varia seu deslocamento em 10° entre os instantes 0 e 1 e em seguida partir para um novo movimento que realiza um deslocamento de 20° entre os instantes 1 e 2.

A Tabela 4 apresenta os valores de deslocamento, velocidade e aceleração no início e fim de cada movimento, obtidos a partir dos gráficos das Figuras 9, 10 e 11.

Tabela 4 – Deslocamento, velocidade e aceleração para a junta 3

Tempo (s)	Deslocamento (°)	Velocidade (°/s)	Aceleração (°/s ²)
0	0	0	60
1	10	0	- 60
2	-10	0	120
3	-30	0	120
4	-10	0	120
5	10	0	120

Fonte: Autor, 2018.

A partir das informações iniciais de simulação e dos dados obtidos após a mesma percebe-se que cada uma das juntas comportou-se de maneira diferente.

A junta 1 teve um deslocamento contínuo e apenas um pico de velocidade, pois foi atribuído só um movimento para esta junta; A junta dois por sua vez não apresentou uma trajetória contínua, isso se deve ao fato da atribuição de mais de um movimento dentro do intervalo especificado de 5 segundos. Além disso, a junta 2 apresentou uma maior velocidade durante o primeiro deslocamento pois variou 20°, 10° a mais do que nos demais intervalos de tempo; E por fim, a junta 3 apresentou um comportamento semelhante ao da junta 2, entretanto, nesse caso a velocidade no primeiro intervalo de tempo foi menor do que nos outros 4, nos quais os picos de velocidade obtiveram o mesmo valor em função da igualdade de deslocamento angular entre esses 4 movimentos.

A Tabela 5 apresenta o deslocamento máximo, a velocidade máxima e a aceleração máxima para cada uma das juntas ao finalizar os movimentos estabelecidos.

Tabela 5 – Valores máximos para deslocamento angular, velocidade angular e aceleração angular de cada junta

Junta	Deslocamento (°)	Velocidade (°/s)	Aceleração (°/s ²)
Junta 1	90	27	21,6
Junta 2	20	30	120
Junta 3	20	30	120
Junta 4	0	0	0

Fonte: Autor, 2018.

4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos através da simulação foram muito satisfatórios e coerentes com a realidade, demonstrando dessa forma, que a montagem do braço está bem estruturada. A partir da análise dos dados de deslocamento, velocidade e aceleração percebe-se que os gráficos apresentam uma visão real do que, de fato, ocorre com um braço industrial. Isto é perceptível ao verificar os instantes em que os deslocamentos das juntas 2 e 3 invertem o sentido, pois há uma leve inclinação

nos gráficos de velocidade x tempo e deslocamento x tempo.

Além disso, pelos dados obtidos verificou-se que os mesmos condizem realmente com os conceitos matemáticos e, portanto, demonstra a eficiência do software Autodesk Inventor nesse âmbito.

Como os dados foram satisfatórios e as juntas perfeitamente movimentadas o braço está pronto para ser impresso, montado e programado com um micro controlador, a fim de executar movimentos de deslocamento de peças, substituindo, é claro, o órgão terminal apresentado nesse trabalho por uma garra.

REFERÊNCIAS

CABRAL, E.L.L. **"Análise de Robôs"**, ch.5. Disponível em: <[www.poli.usp.br/p/eduardo.cabral/Cinemática Direta.pdf](http://www.poli.usp.br/p/eduardo.cabral/Cinemática_Direta.pdf)>. Acesso em 28 de Agosto de 2018.

CARRARA, V. **Apostila de Robótica**. Disponível em <http://www.dem.inpe.br/val/homepage/cursos/rb_apostila.pdf>. Acesso em 20 de Setembro de 2018.

CRAIG, J. J. **Introduction to Robotics: Mechanics and Control**, Vol.3, Pearson Prentice Hall, New York. pp. 62-164, 2005.

GRAIG, J. **Introduction to Robotics: Mechanics and Control (4th Edition)**. Pearson, 2017.

KATO, L. **Projeto de um braço robótico para fins didáticos**. Universidade Federal de Santa Catarina. Relatório submetido à Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a aprovação na disciplina. Florianópolis, 2015.

PINHEIRO, T., PANTOJA, B. **Cinemática Inversa de um Manipulado Robótico de quatro Graus de liberdade utilizando método numérico iterativo da jacobiana pseudo-inversa**. Instituto de Estudos Superiores da Amazônia, Belém-PA, 2013.

TOLIS, C. **An experimental mechatronic design and control of a 5 DOF Robotic arm for identification and sorting of different sized objects**. Laboratory of Robotics and Applied Control Systems Dept. Of Electrical Engineering Western Macedonia Univ. of Applied Sciences ,Kozani, Hellas. November 13, 2017.

PROJETO VAGA CERTA: ACESSIBILIDADE E ENERGIA



Luiz Mauricio Soares¹, Kevin Mauricio Menon², Maicon Ramon Bueno³

RESUMO

Respeitar as limitações de outra pessoa é reconhecer o direito universal de que os bens da sociedade são igualitários. A inclusão e o acesso à cultura, educação, saúde e lazer é direito de todos. É comum evidenciar-se a falta de respeito de muitos cidadãos para com as pessoas com deficiência (PCD). O presente trabalho tem como objetivo principal conscientizar os usuários do estacionamento da FATEB a respeitar às vagas destinadas as pessoas com deficiência, por meio de sinalização e automatização das vagas reservadas no estacionamento desta instituição. O sistema foi projetado para ser autossustentável alimentado por um conjunto de placas fotovoltaicas, responsáveis pela iluminação da placa sinalizadora e manutenção energética dos circuitos que automatizam um sistema composto por sensores de presença de automóvel, sensores de luz e sinalizador giroflex. O comando dos componentes é realizado por Controlador Lógico Programável (CLP). Os critérios para o desenvolvimento deste projeto estão em concordância com os estudos realizados sobre as normativas e decreto N° 9.296, de 1º de março de 2018 que regulamentou a o art. 45 da lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015, que torna obrigatória a observância da (NBR 9050), sobre a inclusão das pessoas com deficiência. Mediante o exposto, os autores verificaram a necessidade de contribuir de maneira efetiva com a sociedade por meio deste projeto e aplicados à Engenharia Mecânica.

Palavras-chave: Acessibilidade; estacionamento; automação.

ABSTRACT

To respect the limitations of another person is to recognize the universal right that the assets of society are egalitarian. Inclusion and access to culture, education, health and leisure is everyone's right. It is common to highlight the lack of respect of many citizens towards people with disabilities (PCD). The main objective of this work is to make FATEB parking users aware of the vacancies for people with disabilities, by means of signaling and automation of parking spaces reserved for this institution. The system is designed to be self-sustaining powered by a set of photovoltaic panels, responsible for the lighting of the signaling plate and energy maintenance of the circuits that automates a system composed of automobile presence sensors, light sensors and giroflex flag. The components are controlled by Programmable Logic Controller (CLP). The criteria for the development of this project are in agreement with the studies carried out on the regulations and Decree No. 9,296, of March 1, 2018, which regulated the art. 45 of Law 13,146 of July 6, 2015, which makes it compulsory to comply with (NBR 9050) on the inclusion of persons with disabilities.

¹ Acadêmico do curso de Engenharia Mecânica na FATEB – e-mail: <lmauricio1984@bol.com.br>

² Acadêmico do curso de Engenharia Mecânica na FATEB – e-mail: <lmauricio1984@bol.com.br>

³ Professor do curso de Engenharia Mecânica na FATEB – e-mail: <eng.kevin.mmr@gmail.com>.

through this project and applied to Mechanical Engineering.

Keywords: Accessibility; parking; automation.

1. INTRODUÇÃO

As necessidades essenciais dos seres humanos são iguais para todos e devem ser atendidas para que as pessoas possam viver com dignidade. Indivíduos com deficiência física enfrentam constantes limitações em sua rotina diária, essas limitações podem estar intimamente relacionadas a problemas de acessibilidade, ou seja, às condições que permitam o exercício da autonomia e a participação social efetiva desta pessoa, podendo interferir ou prejudicar no seu desenvolvimento. O presente artigo tem como objetivo abordar a importância da educação e o respeito com a pessoa portadora de alguma necessidade especial e sua inclusão, sabendo que o campo da Engenharia Mecânica abrange várias áreas de atuação e tem a responsabilidade de desenvolver novas tecnologias que promovam o avanço da sociedade e melhoram a vida das pessoas. Neste contexto, a tecnologia fotovoltaica pode ser aplicada promovendo benefício em diversas situações do nosso cotidiano, principalmente nas que proponham dispor melhores condições para sociedade de modo geral e de modo indireto para aqueles que possuam alguma limitação. O painel solar aplicado como fonte geradora de eletricidade é fruto de uma pesquisa na FATEB e que tornou possível a concepção deste artigo que abordará um tema bastante relevante para sociedade de modo geral.

2. ACESSIBILIDADE

Segundo o artigo 2º da lei nº10.098/2000 sobre acessibilidade são estabelecidas as seguintes definições: acessibilidade é possibilidade e condição de alcance para utilização, com segurança e autonomia, dos espaços, mobiliários e equipamentos urbanos, das edificações, dos transportes e dos sistemas e meios de comunicação, por pessoa portadora de deficiência ou com mobilidade reduzida. (CAMARA DOS DEPUTADOS, 2000; LEONEL et al, 2015).

O termo acessibilidade originou-se na década de 1940, para designar a condição de acesso das pessoas com incapacidades funcionais atreladas ao surgimento dos serviços de reabilitação física e profissional. O Decreto nº 5.296/04 assim define o termo acessibilidade como condição para utilização, com segurança e autonomia, total ou assistida, dos espaços, mobiliários e equipamentos urbanos, das edificações, dos serviços de transporte e dos dispositivos, sistemas e meios de comunicação e informação, por pessoa portadora de deficiência ou com mobilidade reduzida à questão da acessibilidade é um tema social cada vez mais relevante e presente em nossa sociedade (NONATO, 2013; SILVA, 2013; FERREIRA, 2013; SURIS et al, 2016).

O direito à acessibilidade é regulamentado, no Brasil, pela Norma Brasileira 9050 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT/NBR, 2004). É um direito universal, solidificado no direito constitucional de igualdade. Fundamenta-se nos direitos humanos e de cidadania, a começar pela Constituição Federal de 1988, que garante o direito à cidadania e à dignidade da pessoa humana. O artigo 5º discorre que todos são iguais perante a lei, sem distinção de qualquer natureza, garantindo-se aos brasileiros e aos estrangeiros residentes no País a inviolabilidade do direito à vida, à liberdade, à igualdade, à segurança e à propriedade

(CONSTITUIÇÃO FEDERAL; SILVA 2013; CESTARI E MARTINS, 2016).

A legislação federal destinada a atender as pessoas deficientes apresenta grande extensão, com especial atenção para três leis fundamentais: a Lei n.º 7.853/89, a Lei n.º 7.405/85 e o Decreto n.º 3.298/99. A primeira Lei transfere aos Estados e Municípios a responsabilidade pela adoção de medidas que eliminem as barreiras de acesso dos portadores a edificações, espaços urbanos e meios de transporte. Já pela Lei n.º 7.405/85, torna-se obrigatória a colocação do "Símbolo Internacional de Acesso" em todos os locais e serviços que permitam sua utilização por pessoas portadoras de deficiência, além de dar outras providências (FERREIRA, 2013, SILVA, 2013; NOGUEIRA et al , 2015; ALMEIDA JUNIOR E FERNANDES, 2016).

A definição de acessibilidade está historicamente atrelada à visão da sociedade em relação às pessoas com deficiência. O conceito foi evoluindo durante o século XX, abarcando novas dimensões, fruto das reivindicações e pressões dos diversos grupos da sociedade preocupados com a garantia da inclusão social e direito à cidade a todos, sendo de fundamental importância à luta dos deficientes na conquista dos direitos atualmente contemplados (MORAIS, 2002; ATTADEMO FERREIRA E SOUZA E SOUZA, 2016).

O Ministério Público surge pela Constituição Federal de 1988, como um dos guardiões da cidadania e da dignidade da pessoa humana, propiciando-lhe meios para a efetivação dos direitos das pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida, quer constitucional, quer infraconstitucional (SILVA, 2013; DA SILVA E AGUILAR, 2017).

3. INCLUSÃO NO ENSINO SUPERIOR

A Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no ano de 2010, realizou pesquisa para verificar quais deficiências acometem os brasileiros e publicou o resultado obtido por esse Censo Demográfico, o qual revelou que 23,9 % dos brasileiros entrevistados declararam possuir alguma deficiência. Verificou-se ainda que a deficiência motora atinja 7 % da população brasileira, ou seja, mais 13 milhões de pessoas, sendo a segunda deficiência mais relatada pela população. A primeira foi a deficiência visual, que atinge 35,7 milhões de pessoas. A pesquisa constatou que a deficiência motora severa foi declarada por mais de 4,4 milhões de pessoas. Destas, mais de 734,4 mil disseram não conseguir caminhar ou subir escadas de modo algum e mais de 3,6 milhões informaram ter grande dificuldade de locomoção. Diante desses resultados revelados pelo IBGE, observa-se que aproximadamente $\frac{1}{4}$ da população brasileira apresenta algum tipo de deficiência, seja física ou mental, isto é, quase 25 % dos brasileiros possuem doenças graves e de consequências incapacitantes, sejam elas de natureza transitória, sejam permanentes. Estratificando a população brasileira em grupos etários, constata-se que 7,5 % das crianças de 0 a 14 anos de idade apresentaram pelo menos um tipo de deficiência (IBGE, 2010; CARVALHO, 2017).

No contexto da educação especial, quanto à acessibilidade do aluno com deficiência e ou necessidades educacionais especiais no ensino superior, a realidade atual evidencia um distanciamento ao acesso a esse nível de ensino; sendo poucos os que conseguem ingressar e estes, em sua formação acadêmica, se deparam com muitas barreiras, delineando a realidade do ensino brasileiro (SIMIONATO, 2011). A busca pelo êxito de uma educação que, de fato, seja inclusiva, conta com o respaldo legal e aponta para possibilidades a serem

discutidas a fim de viabilizar o acesso ao ensino para todos os alunos com Necessidades Educativas Especiais (NEE) e, com isso, uma sociedade mais igualitária. A hipótese levantada é a de que, apesar de a Constituição Federal e de o Estatuto da Pessoa com Deficiência assegurarem o direito à acessibilidade para pessoas com deficiência física e/ou mobilidade reduzida, procurando assegurar e efetivar a integração social dessas pessoas, considerando o princípio da igualdade, há barreiras para a efetiva inclusão, sendo que elas podem ser superadas com adaptações no espaço interno e no mobiliário do local como também conscientização de todos que façam uso das dependências desta instituição.

4. METODOLOGIA

As vagas para estacionamento de Veículos em teatros, shoppings, universidades, supermercados, praças e parques, estádios de futebol e edifícios garagem, que conduzam ou que sejam conduzidos por pessoas portadoras de necessidades especiais, devem ter sinalização no piso, sinalização vertical para vagas em via pública e estar próximas a elevadores e rotas acessíveis. O número de vagas para estacionamento de veículos que conduzam ou que sejam conduzidos por pessoas com NEE são estabelecidos por norma, conforme podem ser observados na Tabela 01: Vagas em estacionamento (ABNT, 2004; OMOTE, 2016).

Tabela 01: Vagas em estacionamento.

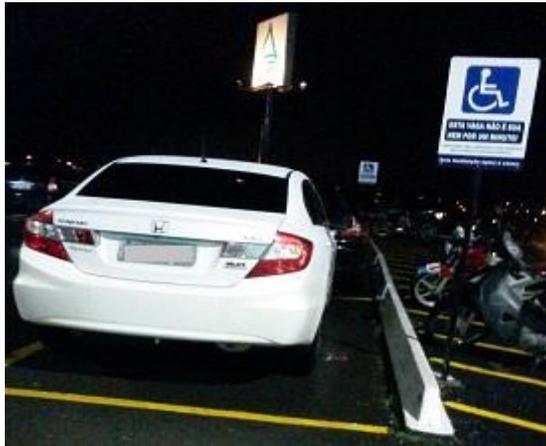
Numero total de Vagas	Vagas Reservadas
Até 10	-
De 11 à 100	1
Acima de 100	1 %

Fonte: Adaptado de ABNT 2004; Brito et al 2008.

É comum, alguns motoristas que não possuem nenhuma limitação física estacionarem seus veículos em vagas destinadas aos portadores de necessidades especiais, podendo também ser observado no estacionamento da FATEB, que é objeto deste estudo. Conforme pode ser verificado na Figura 01, um veículo em vaga reservada e identificada para portadores de necessidades especiais durante todo o período de aula. Com o objetivo de conscientizar que isto não ocorra, este artigo propõe a elaboração e execução de um projeto, com uso da tecnologia fotovoltaica e um sistema eletrônico automatizado, que evidencie e alerte os condutores para não estacionarem em vagas prioritárias.

Este projeto poderá ser autossuficiente por contar com um sistema de geração de energia solar fotovoltaica instalado sobre a marquise da instituição. A energia gerada pela placa é armazenada em uma bateria capaz de suprir as necessidades por um período de três a quatro dias sem ou com níveis baixos de incidência da luz do sol.

Figura 01: Veículo em vaga identificada



Fonte: Autores, 2018.

Devido à falta de empatia para com os acadêmicos portados de deficiência física desta instituição ou visitantes que necessitam da vaga exclusiva, este trabalho tem o propósito de desenvolver o projeto intitulado “Projeto Vaga Certa: Acessibilidade e Energia”, que visa melhorar e conscientizar a utilização e acessibilidade nas vagas reservadas, no estacionamento da FATEB para os portadores de alguma necessidade especial.

O projeto consiste em uma solução para priorizar o uso das vagas especiais desta instituição, sinalizadas pelo símbolo internacional de acessibilidade. O sistema prevê algumas ações que a sociedade gostaria de executar quando vivência a situação de uso indevido destas vagas. O sistema é constituído por uma placa luminosa de LED (Diodo emissor de luz) com o símbolo conforme pode ser observado na Figura 02, alimentado por uma bateria que é carregada por uma placa de energia solar fotovoltaica que carrega uma bateria de 12 volts durante o dia, e durante o período noturno, a bateria alimenta a placa luminosa e o sistema de monitoramento da vaga. Na vaga foram instalados dois sensores ópticos com alcance de 500 mm responsáveis pela detecção de um veículo estacionado na vaga em questão. O sistema apresenta dois tipos de alerta, a partir do momento que a detecção é confirmada pelo CLP, um temporizador programado para o tempo de sessenta segundos inicia alerta sonoro através de uma sirene, e transcorridos noventa segundos um alerta luminoso é ativado utilizando-se de um Girofrefx.

Os acadêmicos portadores de deficiência serão cadastrados e receberão uma senha que desabilitará os sinalizadores, através de um sinal remoto do celular do usuário. O sistema então é desligado e inicia-se a contagem de um período de quatro horas (240 minutos) para novamente ser acionado. Este período é equivalente ao tempo de aula podendo ser ajustado futuramente de acordo com a real necessidade dos usuários, toda vez que o veículo sair da vaga o sistema retornará a condição inicial.

Figura 02: Placa sinalizadora adaptada com iluminação de LED e alimentada pelo sistema fotovoltaico.

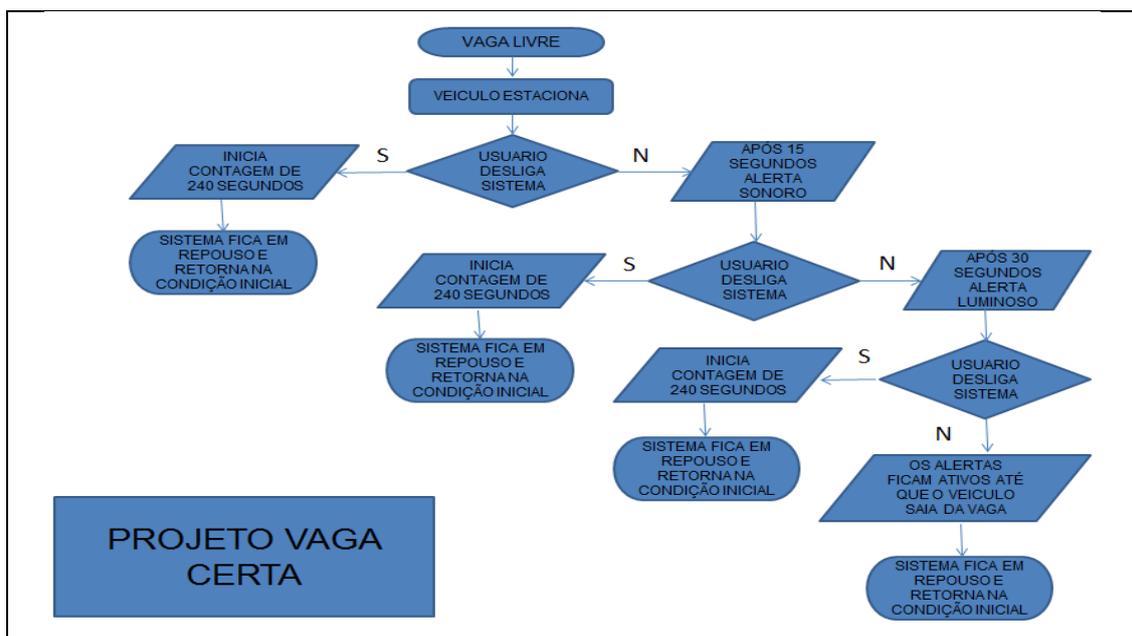


Fonte: Autores, 2018.

5. DESENVOLVIMENTO

O sistema de automação citado utilizado está representado no fluxograma conforme Figura 03, onde é possível visualizar cada etapa do processo e suas respectivas ações, ressaltando que o objetivo proposto é conscientizar os usuários e garantir o direito assegurado por lei para os portadores de alguma limitação física.

Figura 03: Fluxograma de Funcionamento do Sistema Lógico



Fonte: Autores, 2018.

Para a automação de um processo ou sistema, um dos primeiros dispositivos que constituintes é o CLP, que trata-se de é um equipamento eletrônico digital com hardware e software compatíveis com a aplicação que se deseja implementar, é capaz de armazenar e processar informações. Sua utilização é fundamental para realização das mais diversas funções, através de módulos de entradas e saída. Segundo Silva et al (2018), o CLP surgiu na década de 70 na indústria automobilística em decorrência de problemas ligados a cadeia produtiva da época, estes problemas eram relacionados à como fazer carros do mesmo modelo, porém com cores diferentes, ou até mesmo em uma mesma linha com produzir diferentes modelos de veículos, com a inflexibilidade dos painéis elétricos necessitaram desenvolver tecnologias que tornasse hábil a produção de carros aparecendo assim o CLP que foi aplicado com muita velocidade na cadeia produtiva dos mais variados produtos. O controlador conta com uma unidade central de processamento (CPU) com a função de ler os valores presentes nas entradas e executar a instrução. O modelo utilizado neste projeto é fabricado pela Schneider Electric, o Zélio SR2 A101BD possui seis entradas e quatro saídas analógicas que atendem a condição da vaga conforme descrito na Tabela 02, além disso, o modelo possui um a interface que possibilitar a inserção da logica sem auxilio de um programa de linguagem ladder, ou seja, como do inglês “escada” cada ação é executada respeitando um degrau de informações fornecidas ao controlador que por sua vez executara a ação desejada.

Tabela 02: Entradas e Saídas do CLP.

ENTRADAS DO CLP	
Qtde	Descrição
2	Sensores de monitoramento da vaga “ presença do veiculo”.
1	Fotocélula que ira iluminar a placa durante a noite
1	Sinal remoto “Reset”

SAIDAS DO CLP	
Qtde	Descrição
1	Habilita Sirene
1	Habilita Girofrefx
1	Ilumina Placa

Fonte: Autores, 2018.

As demais funções são virtuais como os contadores de tempo e a logica responsável pela tomada de decisões e funcionamento da vaga.

A energia elétrica gerada pela placa fotovoltaica conforme Figura 04, em corrente continua disponibiliza tensão aproximada de 12 volts, para o funcionamento do CLP que recebe 24 volts de tensão de alimentação foi aplicado um sistema elevador de tensão que compensa e protegem os componentes. Com exceção do CLP todo sistema utiliza 12 volts como tensão de alimentação fornecida pelo painel solar.

O painel solar projetado para suprir com energia elétrica é constituído por 32 células fotovoltaicas de silício monocristalino ligados em série por junção através de solda, fornecendo 2,67 W de potência e 0,5 volts de tensão cada célula, suas dimensões 12,5 X 12,5 cm, estimando gerar 85,44 Wp (Watts Pico) e 12 volts de tensão em corrente continua atingindo uma eficiência de 19 % como pode ser

observado na Figura 04, o sistema ainda conta com um painel onde estão o controlador de carga de baixo consumo, a bateria 12 volts que armazena energia elétrica, o CLP e o transformador que alimenta o CLP.

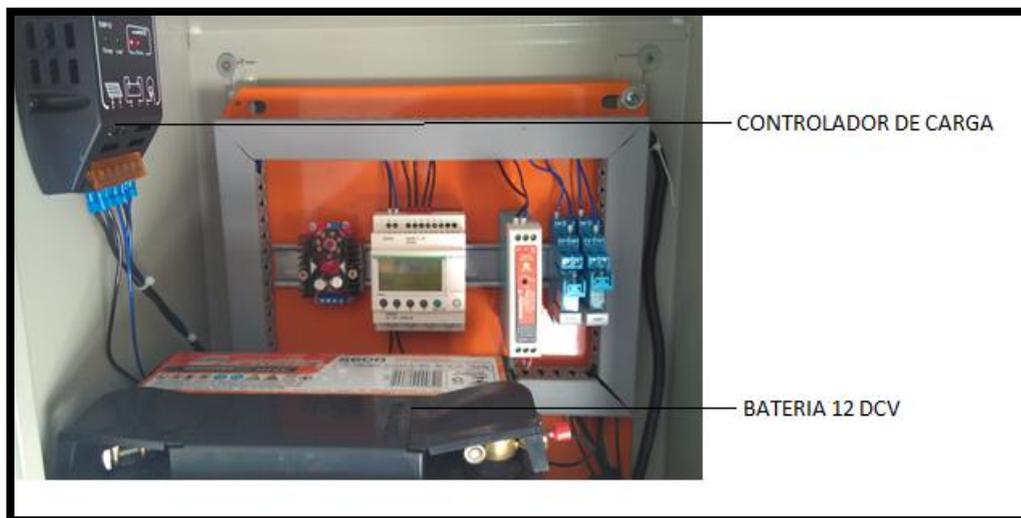
Figura 04: Placa Fotovoltaica



Fonte: Autores, 2018.

O sistema também é composto por um painel onde estão instalados o controlador de carga de baixo consumo, a bateria 12 volts que armazena energia elétrica, o CLP e o transformador que alimenta o CLP, conforme Figura 05 a seguir.

Figura 5: Painel Elétrico.



Fonte: Autores, 2018.

6. CONCLUSÃO

As fontes alternativas de energia em especial a energia solar fotovoltaica contribuem para preservação e equilíbrio ambiental, sem gerar nenhum tipo de poluição no processo de geração de energia elétrica o painel pode ter uma longa vida útil e requer mínima manutenção assegurando o funcionamento do sistema que opera a vaga certa mantendo carregada a bateria até mesmo nos dias com menores níveis de radiação solar, o sistema não gera custos por ser alto suficiente em energia, também não está conectado a concessionária local distribuidora de energia elétrica.

Combater toda e qualquer forma de preconceito e discriminação é a obrigação de todos os cidadãos e a participação da sociedade nesse processo é fundamental respeitando as diferenças na construção do direito à cidadania, principalmente como atuantes e não simplesmente expectadores. A maior barreira pode ser a falta de atitude da sociedade em favor do portador de necessidades especiais. O ambiente acadêmico propicia a elaboração de pesquisas que visam a integração e melhoria na qualidade de vida de todos indivíduos com alguma limitação, neste contexto cabe aos futuros engenheiros aplicar o conhecimento de forma holística e multidisciplinar para desenvolver tecnologias que tragam benefício a sociedade. O projeto apresentado neste trabalho está em fase de implementação, desde o início do funcionamento da nova placa sinalizadora a vaga vem sendo respeitada pelos usuários do estacionamento, após a conclusão do projeto será possível monitorar quantas vezes a vaga foi utilizada por portadores através da utilização da senha de usuário e também quantas vezes foi utilizada por outros condutores pela não utilização da senha para desabilitar o sistema, toda vez que a vaga for ocupada o sistema fara a contagem.

REFERÊNCIAS

ABNT (Associação Brasileira de Norma Técnicas). **NBR 9050 - Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos**. Disponível em: http://www.pessoacomdeficiencia.gov.br/app/sites/default/files/arquivos/%5Bfield_gerico_imagens-filefield-description%5D_24.pdf. Acesso em 10 Junho de 2018.

ALMEIDA JÚNIOR, C. B. FERNANDES, S. (2017). **Políticas de acessibilidade no ensino superior: desafios institucionais**. Estação Científica (UNIFAP), v.6, n. 3, p. 75-83. Macapá, PA. 2016.

ATTADEMO FERREIRA, P. F. SOUZA E SOUZA, G. A. **A pessoa com deficiência segundo as constituições brasileiras de ontem e de hoje: políticas públicas, direitos e garantias fundamentais** Revista VIA IURIS, n. 20, p. 29-50 Fundación Universitaria Los Libertadores Bogotá, Colômbia. 2016.

BRAGA, R. **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos e aplicações**. Projeto submetido ao corpo docente da Universidade Federal do Rio de Janeiro Escola Politécnica departamento de Engenharia Elétrica, Rio de Janeiro, RJ. 2008.

BRASIL. **Lei n.º 10.098**, de 19 de Dezembro de 2000. Esta Lei estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade das pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida, mediante a supressão de barreiras e de obstáculos nas vias e espaços públicos, no mobiliário urbano, na construção e reforma de edifícios e nos meios de transporte e de comunicação. Brasília, DF. 2000.

BRASIL. **Lei n.º 7.405**, de 12 de novembro de 1985. Torna obrigatória a colocação do Símbolo Internacional de Acesso em todos os locais e serviços que permitam sua utilização por pessoas portadoras de deficiência e dá outras providências. Brasília, DF. 2000. Disponível em: <http://www.jusbrasil.com.br/legislacao/109863/lei-7405-85>. Acessado em 10 de Junho de 2018.

BRITO, L. S., MATOS, M. C., NASCIMENTO, M. T. A., & DA SILVA, D. R. R. **Acessibilidade de cadeirantes em clínicas de fisioterapia do Plano Piloto de Brasília**—DF. Universitas: Ciências da Saúde, 4(1), 17-35, 2008.

CABRAL. C. V. T. **Energia Fotovoltaica**. Tese apresentada para título de Doutorado em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Viçosa – Departamento de Engenharia Agrícola. Viçosa, MG. 2001.

CESTARI, W. MARTINS, C. H. **A precariedade das condições de acessibilidade oferecidas por uma Universidade Estadual**. Revista Diálogos: Extensão Metodologias e Inclusão. v 20, n 1. Brasília, DF. 2016.

DA SILVA ALVES, D. S., AGUILAR, L. E. **Consolidação e expansão das políticas de Educação Especial no Brasil: de 1930 à Constituição Federal de 1988**. Revista Veras, v. 7, n.1, p. 63-83. São Paulo, SP. 2017.

DUPONT, F. H.; GRASSI, F.; ROMITTI, L. **Energias Renováveis: Buscando por uma matriz energética sustentável**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e

Tecnologia Ambiental Santa Maria, v. 19, n. 1, Ed. Especial, p. 70 – 81 Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM. Santa Maria, RS. 2015.

FADIGAS, E. A. F. A. **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos, Conversão e Viabilidade técnico-econômica.** GEPEA – Grupo de Energia Escola Politécnica Universidade de São Paulo. São Paulo, SP. 2016.

LEONEL, W. H. S., LEONARDO, N. S. T., GARCIA, R. A. B. **Políticas públicas de acessibilidade no ensino superior: implicações na educação do aluno com deficiência.** Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação, v. 10, n. 5, p. 661-672, 2015.

MATAVELLI, A. C. **Energia Solar: Geração de energia elétrica utilizando células fotovoltaicas.** Monografia apresentada para o título de Engenheiro Químico da Universidade de São Paulo Escola de Engenharia de Lorena – EEL USP, Lorena, SP. 2013.

MORAIS, F. A. A. **A importância da acessibilidade na cidade.** Monografia apresentada ao título de Bacharel em Direito da Universidade estadual da Bahia – UNEB Campus VIII. Artigo 182 da Constituição Federal e o Estatuto da cidade. Salvador, BA. 2012. Disponível em: https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/artigo_33.pdf. Acessado em 20 de Junho de 2018.

NOGUEIRA, A., MAIA, M. N., FARIAS, M. R. **Acessibilidade no ambiente escolar como forma de inclusão social.** Revista Expressão Católica, v. 4, n. 2. 2015.

NONATO, D. N. **Acessibilidade arquitetônica como direito humano das pessoas com deficiência.** Disponível em: <http://www.cesrei.com.br/ojs/index.php/orbis/article/viewFile/63/41>. Acessado em 10 de Junho de 2018.

OMOTE, S. **Atitudes em relação à inclusão no ensino superior.** Journal of Research in Special Educational Needs, v.16, p. 211-215. JORSEN. 2016.

SAUAIA, R. P. **Políticas Estaduais e Municipais para a Energia Solar Fotovoltaica** ABSOLAR – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. Rio de Janeiro, RJ. 2016.

SILVA, A. L. E; da SILVEIRA, T; MORAES, J. A. R; BRUM, T. M. M. (2018). **Proposta de Automação Industrial em uma Empresa Fabricante de Borrachas Escolares.** Revista GEINTEC-Gestão, Inovação e Tecnologias, 8(1), 4159-4172.

SILVA, T. M. S., LIMA, D. F. L. **Direito Fundamental à Acessibilidade no Brasil: Uma Revisão Narrativa Dobre o Tema.** Faculdade de Ciências Sociais Aplicadas. 5º Encontro de Produção Acadêmico-Científico. Campina Grande, PB. 2013.

SURIS, B. S., MEURER, H., WOLFF, F. **Análise sistemática das publicações em tecnologia assistiva, acessibilidade e design universal.** Panorama da produção

EPIC 2018 - V Encontro de Pesquisa e IX Encontro de Iniciação Científica da FATEB – Telêmaco Borba - PR, 25 e 26 de outubro de 2018

bibliográfica da revista estudos em design. Human Factors in Design, v. 5, n. 10, p. 017-030, 2016.



PROJETO, CONSTRUÇÃO E VALIDAÇÃO DE UMA BANCADA DIDÁTICA PARA O ESTUDO DA FLEXÃO E DEFLEXÃO DE VIGAS

Bruno Vieira Piola¹ e Kevin Mauricio Menon Ribeiro²

RESUMO

O correto dimensionamento de componentes mecânicos e estruturais está diretamente relacionado ao conhecimento e entendimento dos engenheiros acerca de mecânica dos sólidos e elementos de máquinas, são de suma importância na fase de projeto, pois, é nesta fase que se levam em consideração a segurança, o custo e facilidade de fabricação destas peças. O estudo das tensões e deformações em que os materiais estão submetidos propicia ao projetista determinar um componente com maior precisão, segurança e menor custo, atingindo assim os objetivos de determinado projeto. Através de testes e aplicação prática dos conhecimentos obtidos em sala de aula é mais fácil ao estudante fixar e compreender a teoria apresentada pelos professores.

Palavras-chave: Dimensionamento; Elementos de Máquinas; Mecânica dos Sólidos; Estruturas.

ABSTRACT

The correct dimensioning of mechanical and structural components is directly related to the knowledge and understanding of the mechanics about the mechanics of the solids and elements of machines, are of paramount importance in the design phase, because, at this stage, safety, cost and ease of manufacture of these parts. The study of the tensions and deformations in which the materials are submitted allows the designer to determine a component with greater precision, safety and lower cost, thus achieving the objectives of a given project. Through tests and practical application of the knowledge obtained in the classroom it is easier for the student to fix and understand the theory presented by the teachers.

Keywords: Sizing; Machine Elements; Solid Mechanics; Structures.

1. INTRODUÇÃO

As vigas são uns dos elementos estruturais mais comuns encontrados em aplicações da engenharia civil, mecânica, naval e aeroespacial (RILEY, 1993; BELÉNDEZ et al., 2003).

No entanto, os tópicos envolvidos no estudo da teoria de vigas nos cursos de graduação tratam-se, na sua grande maioria, na análise e no desenvolvimento de equações analíticas para o cálculo da resistência a flexão e deflexão (HIBBELER, 2003; BEER, 2015).

Portanto, a compreensão e o entendimento dos alunos, quando cursam as disciplinas de mecânica dos sólidos, resistência dos materiais e análise estrutural, são dificultados pelo alto nível de abstração requerido para o entendimento do

¹ Acadêmico de Engenharia Mecânica na FATEB – e-mail: <brunopiola00@hotmail.com>.

² Mestre Docente na FATEB – e-mail: <eng.kevin.mmr@gmail.com>.

comportamento deste tipo de estrutura (CARBONARI et al., 2016; PRAVIA e ORLANDO 2001).

Com o objetivo de melhorar o entendimento dos alunos, em relação ao comportamento estrutural de vigas, vários autores, tais como Carbonari et al. (2016), Beléndez et al. (2003), Marques (2011), Ghuku e Saha (2015), têm desenvolvido bancadas didáticas, em modelos reduzidos, para a medida de quantidades físicas de interesse que permitem realizar a comparação com os resultados obtidos analiticamente ou numericamente, via elementos finitos.

Assim, a possibilidade de realizar a comparação de resultados obtidos analiticamente ou numericamente, utilizando os conceitos de mecânica dos sólidos e resistência dos materiais, auxilia no aprendizado do aluno uma vez que permite apresentar as bases teóricas do problema de vigas, e comprová-las por meio de medidas experimentais na bancada didática (CARBONARI et al., 2016).

Neste contexto, com objetivo de dar continuidade a esta linha de pesquisa, pretende-se neste trabalho mostrar a bancada didática projetada juntamente com testes realizados com métodos experimentais, analíticos e numéricos, e seus respectivos resultados.

O objetivo geral do trabalho é de projetar e confeccionar uma bancada didática para o estudo da flexão e deflexão em vigas, objetivo este que é apresentado neste trabalho.

1.1 A Viga como Elemento Estrutural

Segundo a NBR 6118 14.4.1, de 2014, vigas são elementos lineares em que a flexão é preponderante, são considerados elementos lineares aqueles em que o comprimento longitudinal supera em pelo menos três vezes a maior dimensão da seção transversal, são também chamados de barras.

As cargas que são aplicadas no sentido transversal das vigas são classificadas em concentradas e distribuídas, onde as cargas concentradas são aquelas cuja superfície de contato com o corpo é desprezível comparada com a área do mesmo. As cargas distribuídas são aquelas aplicadas ao longo de um comprimento ou sobre uma superfície, podendo ser uniforme ou não uniforme (GASPAR, 2005).

Egor P. Popov (2014) apresenta em sua literatura as definições sobre tensão e deformação e sua respectiva lei conforme segue abaixo:

Tensão: geralmente as forças que atuam em áreas infinitesimais de um corte, tem magnitudes e direções variadas, essas forças são de natureza vetorial e estão em equilíbrio com as forças aplicadas externamente. Em mecânica dos sólidos é comum definir a intensidade destas forças como resistência à deformação. A intensidade da força perpendicular ou normal à seção é chamada de tensão normal em um ponto.

Deformação: um corpo sólido se deforma quando é sujeito a mudanças de temperatura ou uma carga externa. Quando se aplica uma carga no sentido axial do corpo ocorre uma mudança no comprimento, variando a carga pode-se verificar o quanto o corpo se alongou, este teste é conhecido como intensidade de deformação.

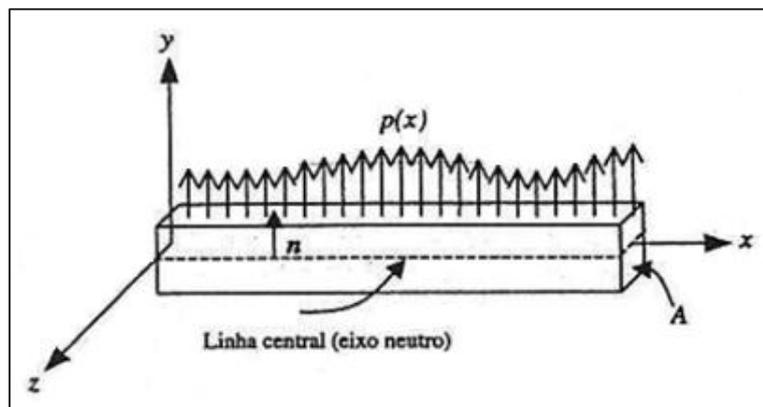
Muitas são as aplicações para as vigas, dentre elas podemos citar a parte estrutural utilizadas na construção civil (pontes, passarelas, edifícios) e diversas aplicações industriais como estruturas e partes de máquinas.

1.2 Equações de Governo da Viga

1.2.1 Cinemática da Viga

A maior simplificação na teoria de viga vem da hipótese de como uma viga deforma. Existem duas grandes teorias para descrever o comportamento das vigas: a teoria da viga de Euler-Bernoulli, frequentemente chamada de teoria de viga para engenharia, e a teoria de viga de Timoshenko. Uma viga é mostrada na Figura 1. O eixo x é colocado coincidente com o centroide da seção transversal A ; aqui, esse eixo será chamado de linha central (ele é também chamado de eixo neutro). Uma importante classe de cargas sobre vigas é aquela normal ao eixo da viga, como $p(x)$ na Figura 1.

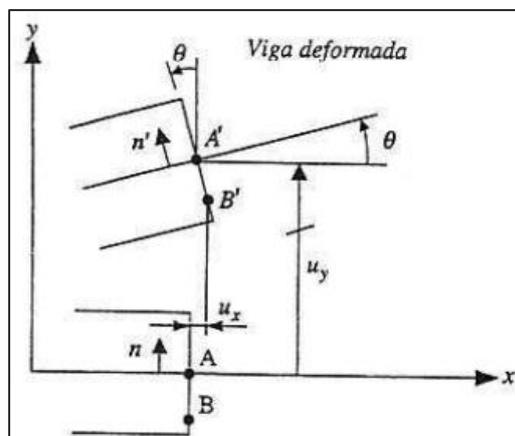
Figura 1: Nomenclatura para uma viga



Fonte: adaptado de Fish, 2007

A hipótese-chave na teoria de viga para engenharia é que seções normais à linha central de uma viga permanecem retilíneas e normais. Isso está ilustrado na Figura 2, que mostra uma viga antes e depois da aplicação de uma carga (a deformação da viga está exagerada; na teoria da elasticidade linear considerada aqui, deformações devem ser invisíveis).

Figura 2: Deformação de uma viga de Euler-Bernoulli



Fonte: adaptado de Fish, 2007

Examinando a Figura 2, podemos ver que a hipótese de normalidade

determina a componente x do deslocamento por meio da profundidade da viga por

$$u_x = -y \operatorname{sen} \theta(x) \quad (1)$$

em que $\theta(x)$ é a rotação da linha central (o sentido anti-horário é positivo) em relação a x e y é a distância da linha central. Se $\theta(x)$ é pequeno, então $\operatorname{sen} \theta = \theta$, e o ângulo de rotação corresponde à inclinação da linha central, de modo que

$$\theta = \frac{\partial u_y(x)}{\partial x} \quad (2)$$

A substituição de (1) por (2) gera

$$u_x = -y \frac{\partial u_y}{\partial x} \quad (3)$$

Aplicando a expressão padrão para deformação longitudinal e a equação (3), achamos que

$$\varepsilon_{xx} = \frac{\partial u_x}{\partial x} = -y \frac{\partial^2 u_y}{\partial x^2} \quad (4)$$

Consideramos nessa equação que u_y , é apenas função de x. Essa equação mostra uma das características fundamentais da teoria de viga para engenharia: a deformação ao longo da viga varia linearmente por meio da espessura da viga. Para materiais elásticos, uma vez que a tensão é proporcional à deformação, a tensão também varia linearmente por meio da profundidade da viga. A tensão máxima sempre ocorre na parte de cima ou na parte de baixo da viga, isto é, próxima a uma das superfícies da viga. Se consideramos o caso mais geral, no qual a linha central é também alongada, dito devido a uma carga axial, o deslocamento por meio da profundidade é dado por

$$u_x(x) = u_x^M(x) - y \frac{\partial u_y(x)}{\partial x} \quad (5)$$

em que u_x^M é o deslocamento da linha central.

As deformações são então dadas aplicando (4) em (5):

$$\varepsilon_{xx} = \frac{\partial u_x^M}{\partial x} - y \frac{\partial^2 u_y}{\partial x^2} \quad (6)$$

$$\varepsilon_{yy} = \frac{\partial u_y}{\partial y} = 0 \quad (7)$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} = -\frac{\partial u_y}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial x} = 0 \quad (8)$$

Essas equações revelam várias outras características de deformações de vigas:

1. A deformação axial é a soma da tensão ao longo da extensão da linha central e da tensão devido à dobragem, o segundo termo em (6); a deformação devido à dobragem é chamada de deformação de dobragem ou de flexão.
2. A deformação ε_{yy} por meio da espessura desaparece.
3. A deformação de cisalhamento transversal γ_{xy} desaparece.

O fato de que γ_{xy} desaparece não é inesperado, pois essa deformação é possível no ângulo entre as coordenadas x e y , e pela hipótese fundamental da teoria de viga para engenharia de que a normal permanece normal, não há nenhuma possibilidade no ângulo entre segmentos de linha nas direções x e y .

1.3 Lei da Tensão e Deformação

Fish, 2007 considera que a viga está em um estado de tensão plana (pois é fina na direção y), de modo que a única tensão não nula é dada pela lei de Hooke e (6):

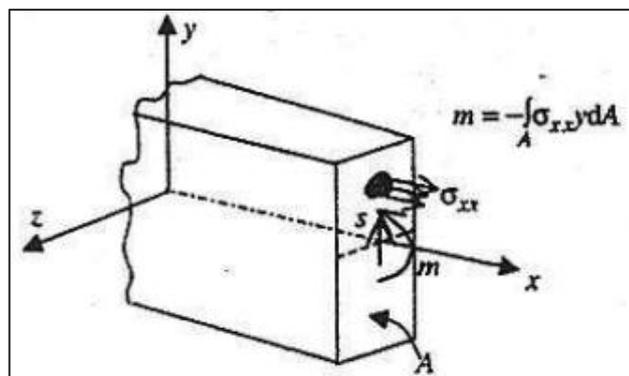
$$\sigma_{xx} = E\varepsilon_{xx} = E \left(\frac{du_x^M}{dx} - y \frac{d^2u_y}{dx^2} \right) \quad (9)$$

As tensões na seção transversal da viga podem ser relacionadas com o momento na seção transversal, como se segue. Usando a definição padrão do momento como o produto da força e do braço de momento (veja Figura 3), obtemos

$$m = - \int_A y \sigma_{xx} dA \quad (10)$$

Nessa equação, $\sigma_{xx} dA$ é a força sobre a área dA e y é o braço de momento. A regra da mão direita foi usada para convencionar o sentido do momento; o sinal negativo aparece na expressão porque o momento é negativo quando a tensão é positiva para $y > 0$.

Figura 3: O momento resultante m e o cisalhamento s na seção transversal da viga



Fonte: adaptado de Fish, 2007

A substituição de (9) em (10) fornece

$$m = - \int_A yE \left(\frac{du_x^M}{dx} - y \frac{d^2u_y}{dx^2} \right) dA = \int_A Ey^2 \frac{d^2u_y}{dx^2} dA \quad (11)$$

A segunda igualdade ocorre porque $y=0$ é um eixo que passa pelo centroide, de modo que $\int_A ydA = 0$.

Se E for constante sobre a seção transversal, podemos tomar E e d^2u/dx^2 fora da integral, obtendo

$$m = E \frac{d^2u_y(x)}{dx^2} \int_A y^2 dA = EI \frac{d^2u_y(x)}{dx^2} = EI_k \quad (12)$$

em que I é o momento de inércia da seção transversal e k a curvatura, dados, respectivamente, por

$$I = \int_A y^2 dA, \quad k = \frac{d^2u_y(x)}{dx^2} \quad (13)$$

A Equação (12) pode ser vista como uma generalização da lei da tensão-deformação: ela relaciona uma integral da tensão com uma medida da deformação, a curvatura k. Na forma de (12), ela não é prontamente reconhecida como uma lei de tensão-deformação, mas a única diferença entre (12) e a lei de Hooke $\sigma = E\varepsilon$ é que (12) está escrita em termos de uma integral de tensão e da deformação generalizada k.

1.3.1 Equilíbrio

As equações de equilíbrio para a viga relacionam o momento, a força de cisalhamento transversal e o carregamento vertical $p(x)$. Um segmento infinitesimal da viga é mostrado na Figura 4. Observe que, assim como as tensões, o momento interno m é positivo sobre as superfícies positiva e negativa sobre as superfícies negativas; usamos a regra da mão direita, de modo que um momento é positivo quando estiver na direção de seus dedos no momento que o seu polegar apontar na direção positiva do eixo z. A força de cisalhamento s é positiva quando age na direção positiva y sobre uma face positiva e na direção negativa y sobre uma face negativa.

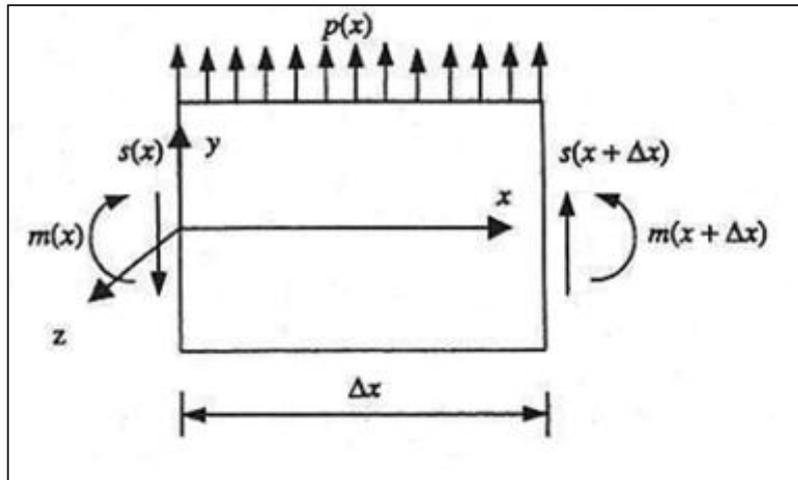
Se considerarmos o equilíbrio vertical do segmento de viga mostrado na Figura 4 pela soma de todas as forças verticais, obtemos

$$s(x + \Delta x) - s(x) + p \left(x + \frac{\Delta x}{2} \right) \Delta x = 0 \quad (14)$$

Dividindo essa equação por Δx e tomando o limite com $\Delta x \rightarrow 0$, obtemos

$$\frac{ds}{dx} + p = 0 \quad (15)$$

Figura 4: Um segmento da viga usada para o desenvolvimento de equações de equilíbrio



Fonte: adaptado de Fish, 2007

A seguir, consideramos o equilíbrio de momento sobre o ponto $x=y=0$:

$$m(x + \Delta x) - m(x) + \Delta x s(x + \Delta x) + \frac{1}{2} \Delta x^2 p \left(x + \frac{\Delta x}{2} \right) = 0 \quad (16)$$

Dividindo essa equação por Δx e tomando o limite com $\Delta x \rightarrow 0$, obtemos

$$\frac{dm}{dx} + s = 0 \quad (17)$$

As equações (15) e (17) são as duas equações de equilíbrio para a viga. Elas podem ser combinadas em uma simples equação, tomando a derivada de (17), que gera $(d^2m/dx^2) + (ds/dx) = 0$, e combinando com a Equação (15) obtemos

$$\frac{d^2m}{dx^2} - p = 0 \quad (18)$$

As equações (12) e (18) são a formulação forte das equações da viga. Essas duas equações podem ser combinadas em uma simples equação, que para vigas com EI constante é:

$$EI \frac{d^4 u_y}{dx^4} - p = 0 \quad (19)$$

Essa equação é uma equação diferencial ordinária de quarta ordem no deslocamento vertical da linha central da viga, $u_y(x)$. Essa equação diferencial é de ordem superior às equações diferenciais que consideramos previamente, que resultam em algumas importantes modificações nas condições de contorno e no desenvolvimento da formulação fraca.

1.3.2 Condições de Contorno

As condições de contorno sobre uma viga podem ser escritas da seguinte forma:

$$u_y = \bar{u}_y \text{ em } \Gamma_u \quad (20)$$

$$\frac{du_y}{dx} = -\bar{\theta} \text{ em } \Gamma_\theta \quad (21)$$

$$mn = -EI \frac{d^2 u_y}{dx^2} n = \bar{m} \text{ em } \Gamma_m \quad (22)$$

$$sn = -EI \frac{d^3 u_y}{dx^3} n = \bar{s} \text{ em } \Gamma_s \quad (23)$$

Em (22) e (23), inserimos a normal n às condições de contorno naturais. Isso é necessário para a consistência entre a definição positiva de momentos internos (10) e as forças de cisalhamento (17) e as definições de \bar{m} e \bar{s} , que são positivas quando agem no sentido anti-horário e na direção positiva y , respectivamente.

Essas condições de contorno são combinadas em várias formas para modelar diferentes tipos de condições físicas e de extremidades. Três exemplos de condições de extremidades são

1. Uma extremidade livre com uma carga aplicada:

$$sn = \bar{s} \text{ em } \Gamma_s \quad mn = \bar{m} \text{ em } \Gamma_m \quad (24)$$

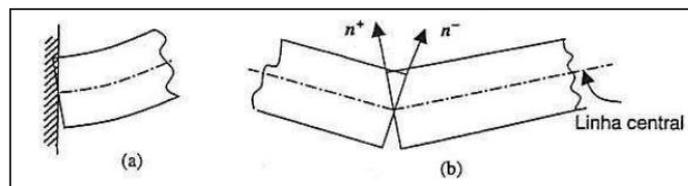
2. Um apoio simples:

$$\bar{m} = 0 \text{ em } \Gamma_m \quad \bar{u}_y = 0 \text{ em } \Gamma_u \quad (25)$$

3. Um apoio fixo:

$$\bar{u}_y = 0 \text{ em } \Gamma_u \quad \bar{\theta} = 0 \text{ em } \Gamma_\theta \quad (26)$$

Figura 5: Perda de compatibilidade em uma viga de Euler-Bernoulli causada por fendas e sobreposições: (a) devido a $\theta \neq 0$ no suporte e (b) devido a uma guinada no deslocamento



Fonte: adaptado de Fish, 2007

É interessante notar que a segunda condição em (26) para o apoio fixo pode

ser explicada em termos de compatibilidade e da hipótese da normalidade: se $\theta \neq 0$ em um suporte fixo, fendas e sobreposições desenvolvem-se no suporte porque qualquer linha vertical que era originalmente normal à linha central fica sobreposta ao suporte em um lado e forma uma fenda do outro lado, como mostrado na Figura 5.

Pode-se ver que cada ponto de contorno corresponde a duas condições de contorno, isto é, uma extremidade livre é um contorno r_s , como também é um contorno r_m . Duas condições de contorno são requeridas em cada extremidade da viga, porque a equação de equilíbrio é uma equação diferencial ordinária de quarta ordem (Fish, 2007).

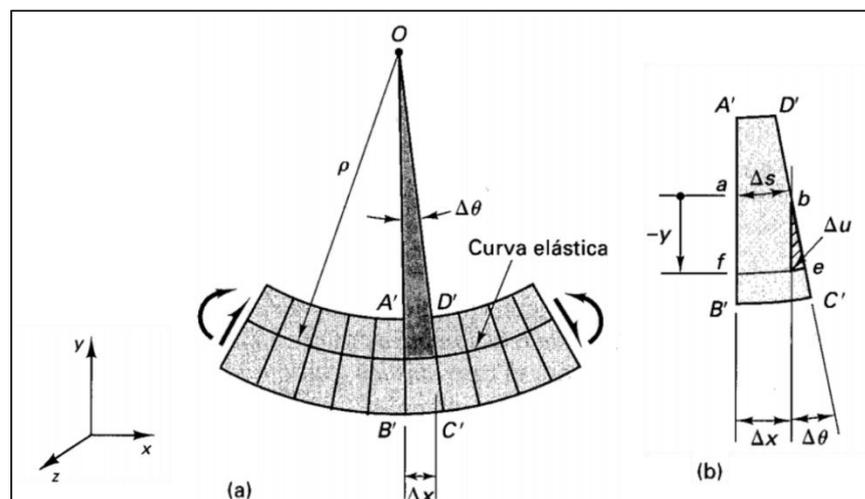
1.4 DEFLEXÃO

Popov, 2014 diz que a ação de forças aplicadas provoca deflexão do eixo de uma viga em relação a sua posição inicial. Valores precisos para as deflexões das vigas são procurados em muitos casos práticos. Elementos de máquinas devem ser suficientemente rígidos para que se evitem desalinhamentos e para manter a precisão dimensional sob ação de cargas. Em prédios, as vigas dos pavimentos não podem defletir excessivamente para evitar efeitos psicológicos indesejáveis sobre os ocupantes e para minimizar ou evitar situações de preocupação com os materiais frágeis de acabamentos. Da mesma forma, a informação sobre características de deformação de membros é essencial ao estudo de vibrações de máquinas, assim como em estruturas estacionárias e de avião.

Para desenvolver a teoria da deflexão de vigas, deve-se considerar a geometria ou cinemática da deformação de uma viga. A hipótese cinemática fundamental, de que as seções planas permanecem planas durante a deformação fornece a base para a teoria.

Na Figura 6(a) está mostrado um segmento de uma viga reta na condição deformada. O eixo defletido da viga, isto é, sua curva elástica, está mostrada encurvado a um raio ρ . O centro de curvatura O para o raio de qualquer elemento pode ser achado pelo prolongamento até a interseção, de quaisquer duas seções adjacentes, tais como $A'B'$ e $D'C'$. Para o presente, admitir-se-á que a flexão ocorra em torno de um dos eixos principais da seção transversal.

Figura 6: Deformação de um segmento de viga na flexão



Fonte: adaptado de Popov, 2014

Na vista aumentada do elemento A'B'C'D', na Figura 6(b), pode-se ver que, (27)

$$\Delta u = -y\Delta\theta$$

em uma viga fletida, o ângulo definido pelas duas seções adjacentes é $\Delta\theta$. Se as distancias y da superfície neutra às fibras deformadas são medidas da maneira usual, positivas para cima, a deformação Δu de qualquer fibra pode ser expressa por

Para valores negativos de y , isso provoca alongamentos de acordo com a deformação mostrada na figura.

As fibras contidas na superfície neutra curva da viga deformada, caracterizada na figura 6(b) pela fibra ab , não são deformadas. Dessa forma, o comprimento do arco Δs corresponde ao comprimento inicial de todas as fibras entre as seções A'B e D'C'. mantendo isso em mente, e dividindo (27) por Δs , pode-se formar as seguintes relações:

$$\lim_{\Delta s \rightarrow 0} \frac{\Delta u}{\Delta s} = -y \lim_{\Delta s \rightarrow 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta s} \text{ ou } \frac{du}{ds} = -y \frac{d\theta}{ds} \quad (28)$$

Pode-se reconhecer que du/ds é a deformação linear de uma fibra da viga a uma distância y do eixo neutro. Assim,

$$du/ds = \varepsilon \quad (29)$$

O termo du/ds da (28), tem significado geométrico claro. Com a ajuda da Figura 6(a), vê-se que, como $\Delta s = \rho\Delta\theta$

$$\lim_{\Delta s \rightarrow 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta s} = \frac{d\theta}{ds} = \frac{1}{\rho} = k \quad (30)$$

que é a definição de curvatura K (kappa).

Com base no anteriormente exposto, e após substituir (29) e (30) em (28), pode-se exprimir a relação fundamental entre a curvatura da curva da linha elástica e a deformação linear, por

$$\frac{1}{\rho} = k = -\frac{\varepsilon}{y} \quad (31)$$

É importante observar que, não tendo sido usadas as propriedades do material na dedução de (31), essa relação pode ser usada para problemas elásticos e inelásticos. No primeiro caso, é interessante observar que, como $\varepsilon = \varepsilon_x = \sigma_x/E$ e $\sigma_x = -My/I$,

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI} \quad (32)$$

Essa equação relaciona o momento fletor M em uma seção dada de uma

viga elástica de momento de inercia I , em relação ao eixo neutro, com a curvatura $1/\rho$ da curva elástica.

1.4.1 Condições de Contorno

Para a solução dos problemas de deflexão de vigas, além das equações diferenciais, devem ser prescritas condições de contorno. Alguns tipos de condições de contorno homogêneas são os seguintes:

- (A) Suporte fixo ou engastado. Nesse caso, o deslocamento v e a inclinação dv/dx devem ser nulos. Assim na extremidade considerada, onde $x=a$,

$$v(a) = 0, \quad v'(a) = 0 \quad (33)$$

- (B) Suporte de rolete ou de pino. Na extremidade considerada não pode existir deflexão v nem momento fletor M . Assim,

$$v(a) = 0, M(a) = EIv''(a) = 0 \quad (34)$$

- (C) Extremidade livre. Tal extremidade é livre de momentos e forças cortantes. Assim,

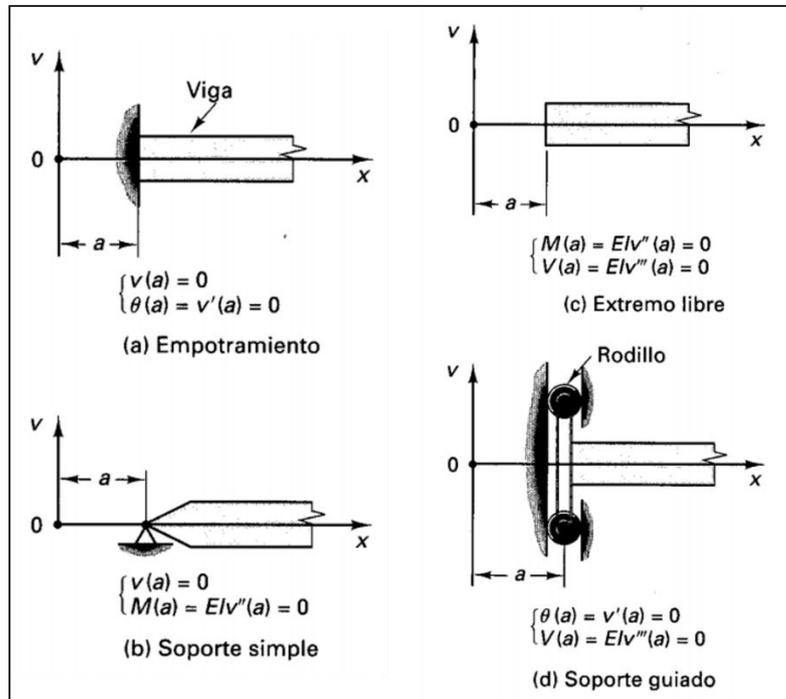
$$M(a) = EIv''(a) = 0, \quad V(a) = -(EIv''')'_{x=a} = 0 \quad (35)$$

- (D) Suporte guiado. Nesse caso é permitido o movimento vertical livre, mas a rotação da extremidade é evitada. O suporte não é capaz de resistir a qualquer cisalhamento. Dessa forma,

$$v'(a) = 0, \quad V(a) = -(EIv''')'_{x=a} = 0 \quad (36)$$

As mesmas condições de contorno para EI constante, são resumidas na Figura 7.

Figura 7: Condições de contorno homogêneas para vigas com EI constante. Em (a) ambas as condições são cinemáticas; em (c) ambas são estáticas; em (b) e (d) as condições são mistas



Fonte: adaptado de Popov, 2014

Observe os dois tipos basicamente diferentes de condições de contorno. Alguns pertencem as forças e são chamadas de condições de contorno estáticas. Outras descrevem o comportamento geométrico ou de deformação de uma extremidade; essas são as condições de contorno cinemáticas (POPOV, 2014).

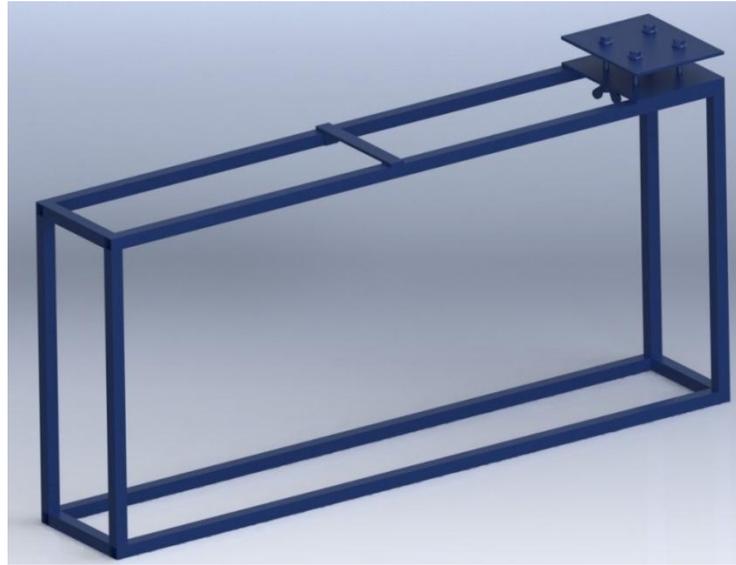
2. METODOLOGIA

A proposta foi a da construção de uma bancada em um modelo que fosse possível realizar os testes para determinar a flexão e a deflexão de vigas. Durante os primeiros testes, também foi verificado que nesta mesma bancada é possível determinar além da flexão e deflexão, determinar as reações de apoio e momento fletor máximo do corpo de prova dos testes.

2.1 Construção da Bancada

Para a concepção da bancada foi inicialmente modelado um protótipo em CAD, e realizado ajustes antes da fabricação da bancada, no desenho abaixo mostra-se o modelo CAD da bancada.

Figura 8 – Modelo em projetado em CAD



Fonte: Autor, 2018

Após definido como o modelo seria, a bancada foi construída com base no modelo idealizado para a realização dos testes.

A estrutura da bancada foi construída com barra de metalão em aço carbono 1020, para os suportes do corpo de prova foram utilizados chapa em aço carbono com 1/8"pol de espessura a união das peças foi realizada através de soldagem com eletrodo revestido utilizando máquina de solda inversora. Para apertar o corpo de prova na estrutura foram necessários quatro parafusos de rosca M6 com 50mm de comprimento cada, e quatro porcas tipo borboleta com rosca M6. O acabamento foi realizado com spray de tinta cor azul metálico.

Abaixo uma imagem da bancada construída.

Figura 9 – Vista lateral da bancada



Fonte: Autor, 2018

Possui dimensões da ordem de 700mm de comprimento, 350mm de altura e 180mm de largura.

Equipamentos complementares foram adicionados à bancada, sendo um relógio comparador com base magnética, e uma balança digital. Estes itens de medição são indispensáveis para o funcionamento da bancada.

3. DESENVOLVIMENTO

Para o teste preliminar da bancada foi definido um enunciado inicial conforme apresentado abaixo:

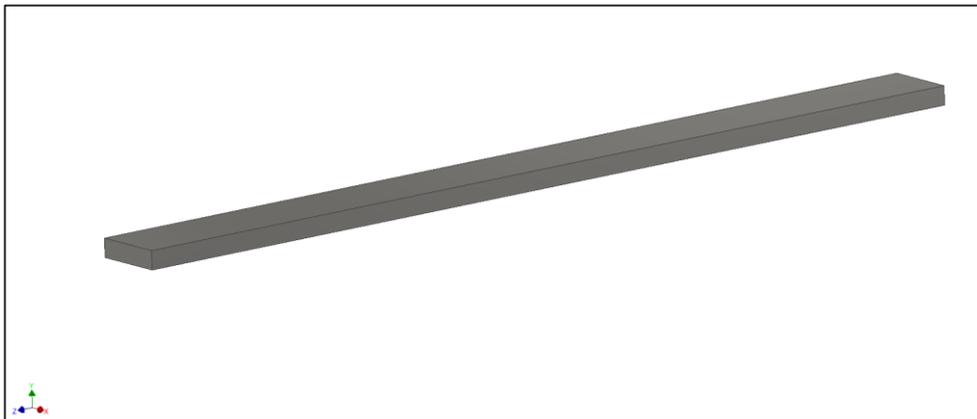
Um corpo de prova engastado em uma extremidade e com a outra livre, possui dimensões constantes, medindo 250mm de comprimento, e seção transversal retangular de 19,05mm de largura por 5mm de altura. Constituído de aço carbono AISI 1020 com módulo de elasticidade (E) de 200Mpa. É carregado verticalmente na extremidade livre com diferentes massas. Determinar o deslocamento (deflexão) máximo do corpo de prova.

Para os cálculos numéricos, foram utilizados dois softwares de utilização comum nas engenharias, o Autodesk Inventor (Licença Acadêmica número: 900-92251075 / 797K1), e o FTool (Utilização Livre).

3.1 Solução Numérica Utilizando Software Autodesk Inventor (Licença Acadêmica Número: 900-92251075 / 797k1)

Modelado uma viga retangular com dimensões conforme apresentado no enunciado do teste conforme exibido na figura 10.

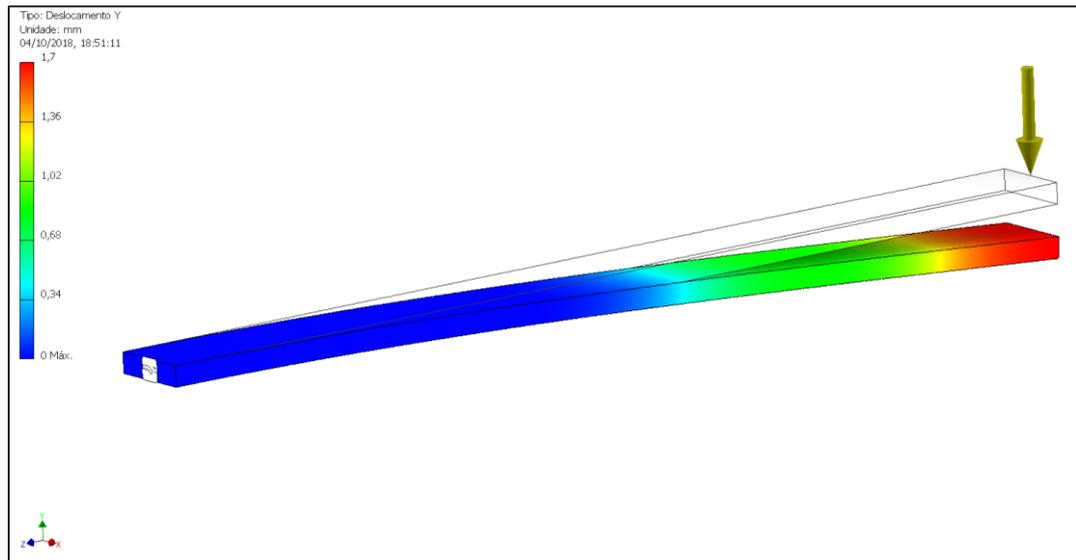
Figura 10 – Modelo em CAD 3D da viga



Fonte: Autor, 2018

Com o material da viga já definido no setup da peça, iniciou-se o estudo estático. Foram aplicadas as configurações pertinentes no software e executada a simulação, obtendo dados conforme a figura 11.

Figura 11 - Resultado da simulação estática



Fonte: Autor, 2018

A simulação apresentou um deslocamento máximo no eixo y conforme a tabela 1.

Tabela 1 - Resultados calculados pelo Inventor

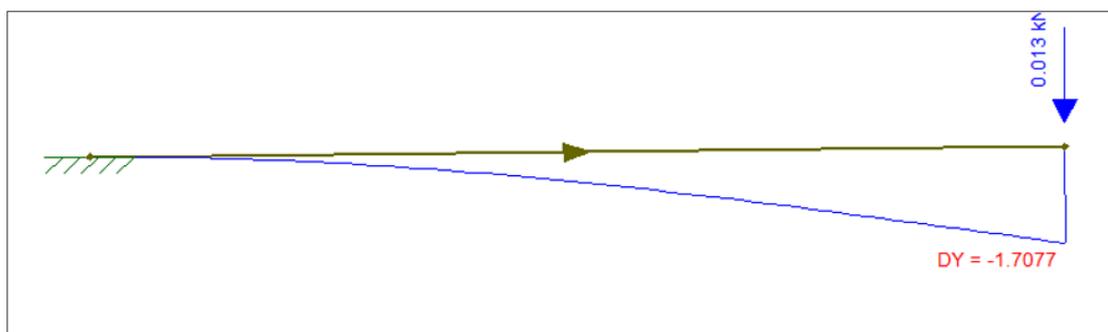
Carga (kN)	Deflexão (mm)
0,013	1,700
0,019	2,484
0,028	3,661

Fonte: Autor, 2018

3.2 Solução Numérica Utilizando Software Ftool

Aplicando as configurações e setup do programa, originou o resultado conforme a figura 12.

Figura 12 – Visão geral do deslocamento calculado pelo FTool



Fonte: Autor, 2018

O resultado calculado pelo FTool de deslocamento máximo no eixo y

conforme a tabela 2.

Tabela 2 - Resultado calculado pelo FTool

Carga (kN)	Deflexão (mm)
0,013	1,707
0,019	2,496
0,028	3,678

Fonte: Autor, 2018

3.3 Solução Analítica

Utilizando dos dados fornecidos pelo enunciado e da teoria apresentada na introdução deste trabalho, foi possível determinar a deflexão da viga conforme a equação 37 apresentada abaixo.

$$\delta_{max} = \frac{PL^3}{3EI} \quad (37)$$

Onde:

P – Carga em Kn

L – Comprimento da viga (250mm)

E – Módulo de elasticidade do material (AISI 1020 = 200MPa)

I – Momento de inércia da seção transversal da viga (198,125mm⁴)

A tabela 3 mostra os resultados obtidos através do cálculo analítico.

Tabela 3 - Resultados do cálculo analítico

Carga (kN)	Deflexão (mm)
0,013	1,708
0,019	2,497
0,028	3,680

Fonte: Autor, 2018

3.4 Testes Experimentais

Os testes experimentais foram realizados aplicando uma carga conhecida na extremidade livre da viga, o deslocamento foi medido com um relógio comparador de escala 0,01mm, com a ponta de prova apoiado também na extremidade livre da viga.

Na tabela 4 são exibidos os resultados do teste experimental.

Tabela 4 - Resultado do teste experimental

Carga (kN)	Deflexão (mm)
0,013	3,820
0,019	4,200
0,028	6,160

Fonte: Autor, 2018

3.4 Resultados Finais

Os resultados obtidos com os testes foram satisfatórios comparando o método analítico, com os métodos numéricos, porém, o teste experimental não apresentou coerência com os demais métodos utilizados. Para cada método foram desenvolvidos testes com três cargas diferentes para a mesma barra.

Na tabela 5 abaixo, são apresentados os resultados obtidos.

Tabela 5 - Resultados dos testes

Carga (kN)	Inventor (mm)	FTool (mm)	Analítico (mm)	Experimental (mm)
0,013	1,700	1,707	1,708	3,820
0,019	2,484	2,496	2,497	4,200
0,028	3,661	3,678	3,680	6,160

Fonte: Autor, 2018

Na tabela 6, é exibido a diferença entre o resultado experimental e o analítico, evidenciando a expressiva incoerência entre os dois testes.

Tabela 6 - Diferença entre avaliação analítica e experimental

Carga (kN)	Analítico (mm)	Experimental (mm)	Diferença (mm)
0,013	1,708	3,820	2,112
0,019	2,497	4,200	1,703
0,028	3,680	6,160	2,480

Fonte: Autor, 2018

4. CONCLUSÃO

Através dos resultados obtidos, ainda não é possível a utilização da bancada para fins didáticos, necessitando de alguns ajustes para aproximar os resultados experimentais dos demais métodos comparados.

Abaixo algumas hipóteses em relação ao teste experimental:

- Material da barra não condiz com o informado pelo vendedor;
- Estrutura da bancada não está rígida o suficiente, causando aumento do deslocamento;

4.1 Proposta para Trabalhos Futuros

Para atingir os objetivos propostos de utilizar a bancada para fins didáticos, será necessário realizar ajustes na bancada visando aproximar os resultados experimentais dos resultados numéricos e analítico.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS; **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento, NBR 6118 14.4.1.** 2014.

BEER, F. **Mecânica dos Materiais**. 7ª ed. São Paulo, 2015.

BELÉNDEZ, T.; NEIPP, C.; BELÉNDEZ, A. **Numerical and Experimental Analysis of a Cantilever Beam: a Laboratory Project to Introduce Geometric Nonlinearity in Mechanics of Materials**. 2003.

CARBONARI, G.; MOURA, A. C.; NICACIO, C. E. A.; SAGAE, D. T.; OGASSAWARA, L. T.; FUJII, N.; SOUZA, R. R. **Desenvolvimento de um modelo reduzido didático qualitativo e quantitativo de viga hiperestática**. 2016.

F. W. RILEY AND L. D. STURGES. **Engineering Mechanics: Statics**, Nova York, 1993.

FISH, J.; BELYTSCHKO, T. **Um Primeiro Curso em Elementos Finitos**. 2007.

GASPAR, R. **MECÂNICA DOS MATERIAIS**. 2005.

GHUKU, S.; SAHA, K. N. **A theoretical and experimental study on geometric nonlinearity of initially curved cantilever beams**. 2015.

HIBBELER, R. C. **Resistência dos materiais**. 5ª ed. São Paulo, 2003.

MARQUES, J. M. M. C. **Experimental, Numerical and Virtual Tools in Civil Engineering**. 2011.

POPOV, P. E. **INTRODUÇÃO À MECÂNICA DOS SÓLIDOS**. 12ª reimpressão. São Paulo, 2014.

REDIMENSIONAMENTO E ANÁLISE DE CASO DE UM SISTEMA TUBO DISPERSOR (CHUVEIRO) DE AMIDO CRU



Laudelino Matheus Machado¹ Ana Kaori Ouba²

RESUMO

O presente trabalho é apresentado mencionando características e pontos de um sistema utilizado na fabricação de papel cartão. Esse sistema tem como objetivo melhorar a colagem entre diferentes camadas do papel cartão. O modelo atual sofre com a deficiência de distribuição uniforme. O processo é composto por um tubo dispersor (chuveiro) aplicando amido cru logo antes a junção da camada cobertura e miolo com a camada base, região da mesa de formação. O chuveiro é montado na extensão transversal da máquina de papel tem diversos bicos aplicadores e um sistema de estocagem, bombeamento e recirculação que o antecede. As análises e estudos serão com foco no sistema prevendo melhorar a aplicação, controlando a pressão e a vazão do sistema evitando a perda de carga e perda de material do fluido aplicado.

Palavras-chave: Papel cartão; camadas; chuveiro; amido cru.

ABSTRACT

The present work is presented mentioning characteristics and points of a system used in the manufacture of paperboard. This system aims to improve the bonding between different layers of the carton. The current model suffers from a uniform distribution deficiency. The process consists of a dispersing tube (shower) applying raw starch just before the junction of the cover layer and crumb with the base layer, region of the forming table. The showerhead is mounted to the transverse extension of the paper machine with several applicator nozzles and a storage, pumping and recirculation system that precedes it. The analyzes and studies will be focused on the system, providing for improved application, controlling the pressure and flow of the system avoiding the loss of load and loss of material of the applied fluid.

Key-words: Cardboard paper; layers; shower; raw starch.

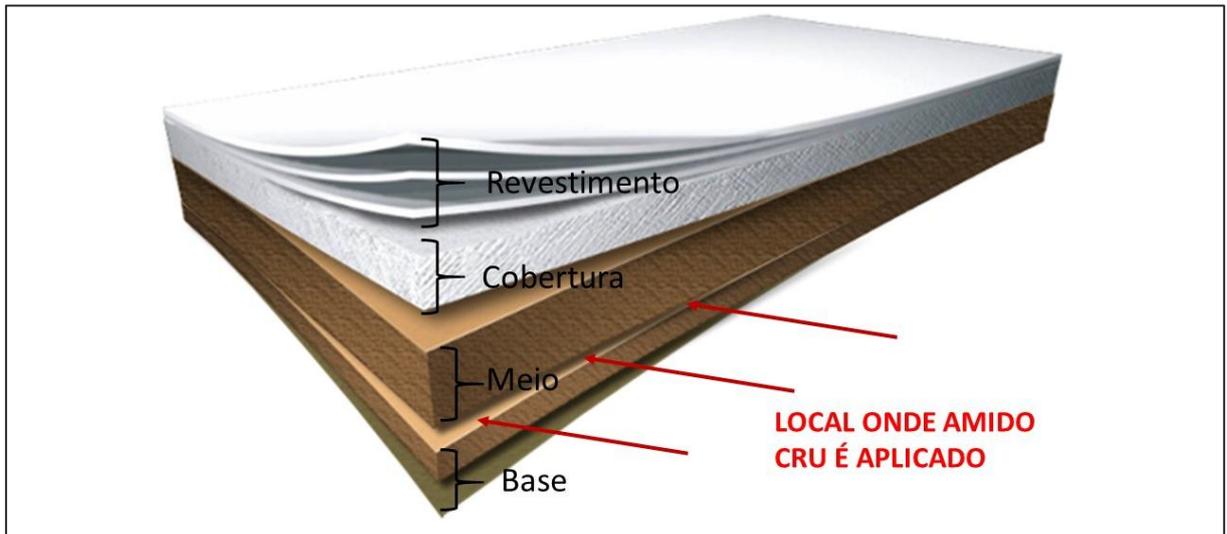
1. INTRODUÇÃO

O Amido cru é aplicado entre diferentes camadas do papel cartão (figura 1), seu objetivo é promover a colagem entre elas (DEGANUTTI 2012).

¹ Acadêmico do curso de Engenharia Mecânica na FATEB – e-mail: <laudelinomatheusmachado@gmail.com.>

² Docente do curso de Engenharia Mecânica na FATEB – email: <anaouba@hotmail.com>

Figura 1 – Esquema de camadas de um papel cartão.

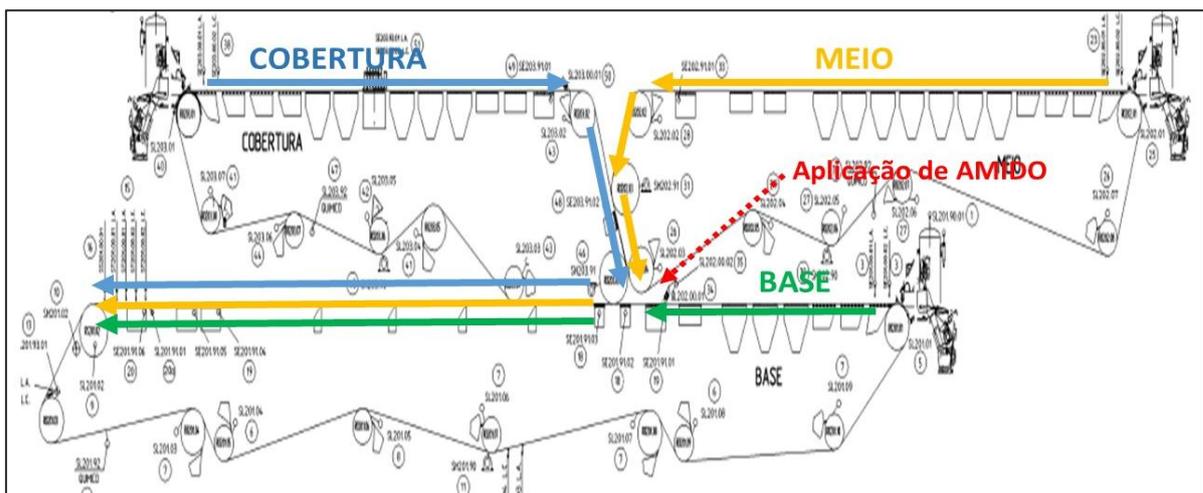


Fonte: Adaptado de Klabin (treinamento operacional, 2015).

A aplicação necessária é entre a camada base e a camada miolo e cobertura, devido à composição de suas matérias primas (figura 2).

A camada base geralmente composta com fibra longa, proveniente do Pinus, algumas vezes com adição de fibra curta, proveniente do Eucalipto, numa proporção de até 30%. A camada meio com composição diferente, formada por uma mistura de matéria prima, polpa quimiotermomecânica (CTMP), fibra longa e curta com adição de seus derivados, como fibras recuperadas do processo, cartão residual desagregado e reaproveitado. Devido essas diferenças de características surge a necessidade de um tubo dispersor para a adição de um produto que una essas camadas já formadas na mesa plana de uma máquina de papel.

Figura 2 – Layout mesa plana/ de formação.



Fonte: Voith MA1100, 2007

A colagem entre as camadas é uma das características que define se o papel tem condições para utilização no seu objetivo, e por esse motivo é acompanhada de forma contínua, realizando testes a cada uma hora para verificação de qualidade como resistência à separação das camadas.

Um dos maiores problemas relacionado a esse tema, é a aplicação de amido cru na folha, que de forma esporádica, mas intensa, acaba afetando a qualidade do papel.

Podemos listar aqui os diversos problemas e defeitos que ocorrem no chuveiro e afetam diretamente os testes finais:

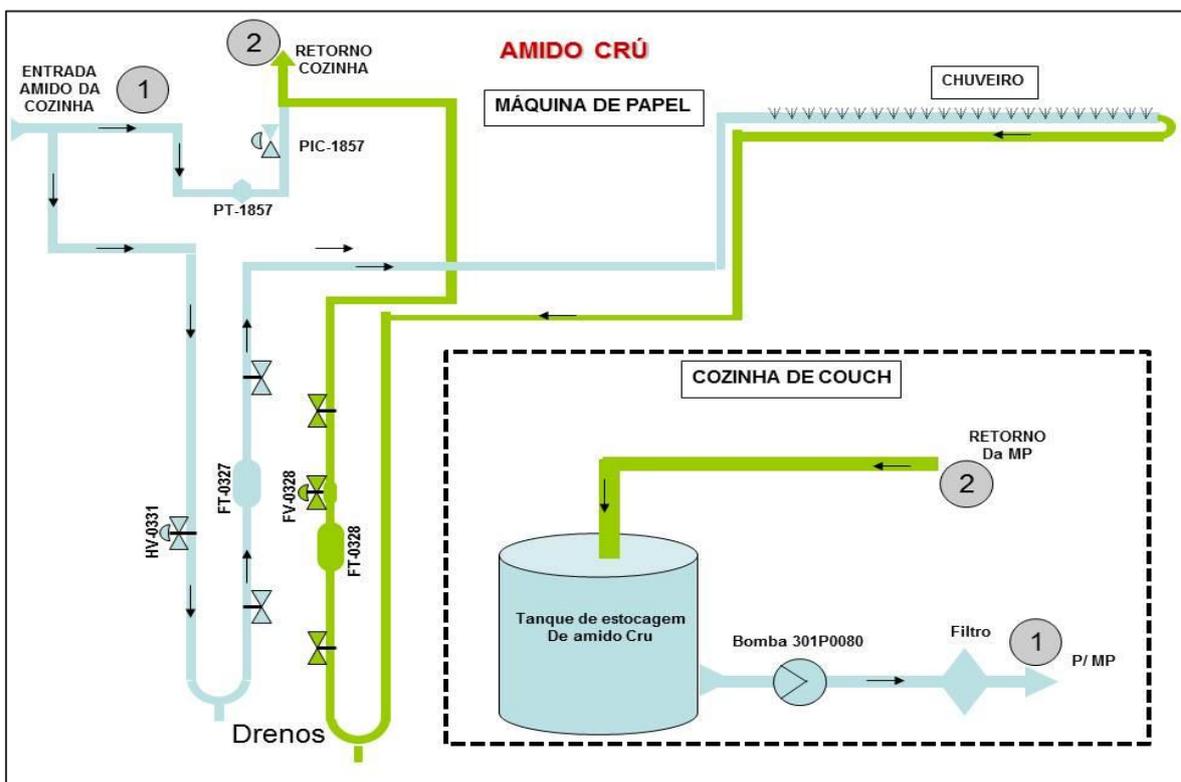
- Entupimento de bicos;
- Perda de pressão nos bicos aplicadores e na linha do chuveiro;
- Consistência e viscosidade do amido cru devido falha no bombeamento;
- Fluxo preferencial em um bico;
- Entupimento da linha principal e linha de recirculação;
- Sistema limitado ao uso de novos produtos.

Os principais objetivos do dimensionamento desse sistema é a redução de defeitos no equipamento na aplicação e trabalho de cada componente.

2. METODOLOGIA

A análise foi realizada em campo, acompanhando o processo na área de produção. A figura 3, representa um esquema simplificado do processo.

Figura 3 – Fluxograma sistema de amido cru.



Fonte: Do autor, 2018.

Iniciando após preparo e dosagem primária do amido, encontra-se um tanque com 36 m³ de capacidade onde é estocado o amido com consistência à 1,8%, e com saída do tanque por uma tubulação de seis polegadas de diâmetro, com componentes e configurações relatados na figura 4, sendo a bomba do modelo NB 80/50 – 29C, Scampump com capacidade de 30m³/h à 60mca com um RPM de 3540.

Figura 4 – Isométrico da tubulação de saída do tanque e sucção da bomba.

Item;	Measures and; Models;	Material;	pieces/; quantity;
Pipe;	168.3x2.5;	AISI 316 L;	3.50 m;
Pipe;	139.7x2.5;	AISI 316 L;	1.21 m;
Drain, bottom of pipe	short as possible;	;	;
Elbow;	168.3x2.5;	AISI 316 L;	1;
Elbow;	139.7x2.5;	AISI 316 L;	1;
Reducer, Eccentric;	168.3/139.7x2.0;	AISI 316 L;	3;
Reducer, Eccentric;	139.7/88.9x2.0;	AISI 316 L;	1;
Collar PN10;	DN150 6";	AISI 316 L;	6;
Collar PN10;	DN125 5";	AISI 316 L;	4;
Collar PN10;	DN80 3";	AISI 316 L;	1;
Loose flange PN10;	DN150 6";	FeZn;	6;
Loose flange PN10;	DN125 5";	FeZn;	4;
Loose flange PN10;	DN80 3";	FeZn;	1;
Gasket;	DN125 5";	Kling.4400;	2;
Gasket;	DN80 3";	Kling.4400;	1;
Bolt;	3/4" - 5 1/2";	FeZn;	32;
Bolt;	3/4" - 3 1/4";	FeZn;	16;
Bolt;	5/8" - 3";	FeZn;	4;
Nut;	3/4";	FeZn;	48;
Nut;	5/8";	FeZn;	4;
washer;	3/4";	FeZn;	48;
washer;	5/8";	FeZn;	4;
Kamlok 633-FB-RK;	G1";	;	4;
Hand valve, ball, TH/BW, drain;	DN25 1";	;	4;
Hand valve, butterfly, BF.;	DN150 6";	;	3;
Hand valve, butterfly, BF.;	DN125 5";	;	1;

Fonte: Klabin MA1100, 2018.

O recalque da bomba é composto por uma seção com uma tubulação de 4 (quatro) polegadas de diâmetro, com componentes e configurações relatados na figura 5, e tem por final dessa seção um filtro contínuo de limpeza automática.

Figura 5 – Isométrico da tubulação de recalque da bomba.

Item;	Measures and; Models;	Material;	pieces/; quantity;
Pipe;	114.3x2.0;	AISI 316 L;	5.52 m;
Pipe;	48.3x1.5;	AISI 316 L;	0.04 m;
Drain, bottom of pipe	short as possible;	;	;
Elbow;	114.3x2.0;	AISI 316 L;	5;
Reducer, Concentric;	114.3/88.9x2.0;	AISI 316 L;	1;
Collar PN10;	DN100 4";	AISI 316 L;	7;
Collar PN10;	DN80 3";	AISI 316 L;	1;
Loose flange PN10;	DN100 4";	FeZn;	7;
Loose flange PN10;	DN80 3";	FeZn;	1;
Gasket;	DN100 4";	Kling.4400;	2;
Gasket;	DN80 3";	Kling.4400;	1;
Bolt;	5/8" - 5 1/4";	FeZn;	20;
Bolt;	5/8" - 3";	FeZn;	4;
Nut;	5/8";	FeZn;	32;
washer;	5/8";	FeZn;	32;
Kamlok 633-FB-RK;	G1";	;	1;
Hand valve, ball, TH/BW, drain;	DN25 1";	;	1;
Check valve, BF;	DN100;	;	1;
Hand valve, butterfly, BF.;	DN100 4";	;	2;
Press. transm. socket (Assembly);	1 1/2";	;	1;

Fonte: Klabin MA1100, 2018.

O filtro contínuo Optiscreen da METSO tem capacidade de até 50 m³/h equipado com limpeza automática, com um conjunto de válvulas que realizam a

limpeza e o descarte de rejeitos.

Na saída do filtro a tubulação de ligação até o rack de tubulações (Pipe Rack) permanece com a mesma característica, com componentes e configurações mostrados na figura 6.

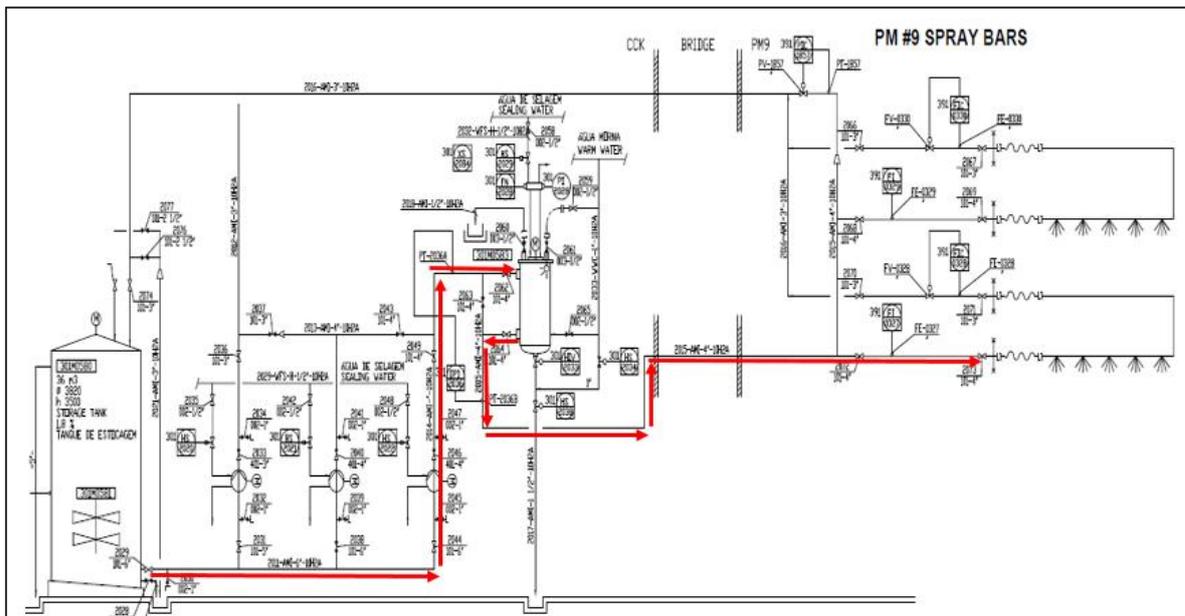
Figura 6 – Isométrico da tubulação de ligação com o *Pipe Rack*.

Item;	Measures and; Models;	Material;	pieces;/ quantity;
Pipe;	114.3x2.0;	AISI 316 L;	48.87 m;
Pipe;	48.3x1.5;	AISI 316 L;	0.04 m;
Elbow;	114.3x2.0;	AISI 316 L;	10;
Reducer, concentric;	114.3/88.9x2.0;	AISI 316 L;	1;
Collar PN10;	DN100 4";	AISI 316 L;	3;
Collar PN10;	DN80 3";	AISI 316 L;	1;
Loose flange PN10;	DN100 4";	FeZn;	3;
Loose flange PN10;	DN80 3";	FeZn;	1;
Gasket;	DN80 3";	Kling.4400;	1;
Bolt;	5/8" - 5 1/4";	FeZn;	12;
Bolt;	5/8" - 3";	FeZn;	4;
Nut;	5/8";	FeZn;	16;
Washer;	5/8";	FeZn;	16;
Hand valve, butterfly, BF.;	DN100 4";	;	2;
Press. transm. socket (Assembly);	1 1/2";	;	1;

Fonte: Klabin MA1100, 2018.

O caminho do processo pode ser visto pela figura 7, onde mostra qual as etapas percorrem o amido desde o estoque até a aplicação.

Figura 7 – Layout do sistema de aplicação de amido.



Fonte: Klabin MA1100, 2018.

3. DESENVOLVIMENTO

Os maiores detalhes podem ser vistos nos arquivos que foram encontrados no banco de dados da engenharia de planejamentos, disponível assim detalhes do

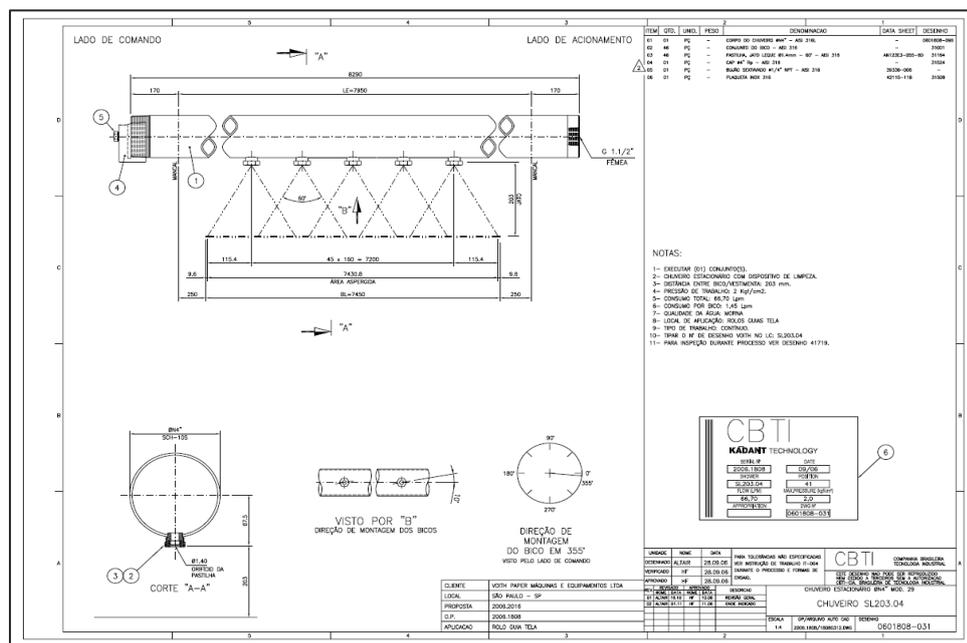
processo no preparativo do amido cru, que ocorre na área denominada Cozinha de couche, e vai até sua dosagem na máquina de papel.

A análise realizada nesse processo será a perda de carga do sistema, a limitação de alguns equipamentos que podem gerar a necessidade de um melhoramento, substituições ou um novo projeto.

Segundo a fabricante Spraying Systems os bicos podem ser substituídos conforme a necessidade do cliente (Spray produtos, 2018).

Atualmente o bico instalado é o de fenda diferente do projeto original que veio configurado com um bico de cone oco. O layout do tubo dispersor pode ser visto na figura 8.

Figura 8 – Layout do chuveiro ou tubo dispersor.

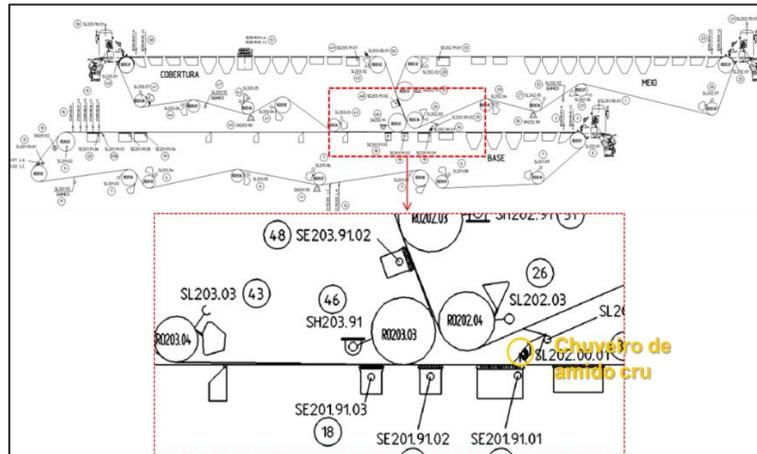


Fonte: CBTI Kadant tecnologia, 2018

O estudo de caso, todo o processo de análise e melhoria, as modificações pesquisas e intervenções, abrange somente o sistema de amido cru, que comporta sua estocagem e preparação que são fora do prédio da máquina de papel, ficando somente perto da máquina as válvulas manuais e de controle (pressão diferencial, controle de vazão, drenos), e indicadores e transmissores de vazão e pressão. E instalado na máquina o tubo dispersor (chuveiro) na seção de formação (figura 9).

A seção de formação, área de atuação desse trabalho fica no início da máquina de papel (figura 10).

Figura 9 – Localização do chuveiro de amido cru na seção de formação.



Fonte: Adaptado de Manual VOITH (MA 1100, 2007).

Figura 10 – Layout maquina de papel indicando a seção de formação.

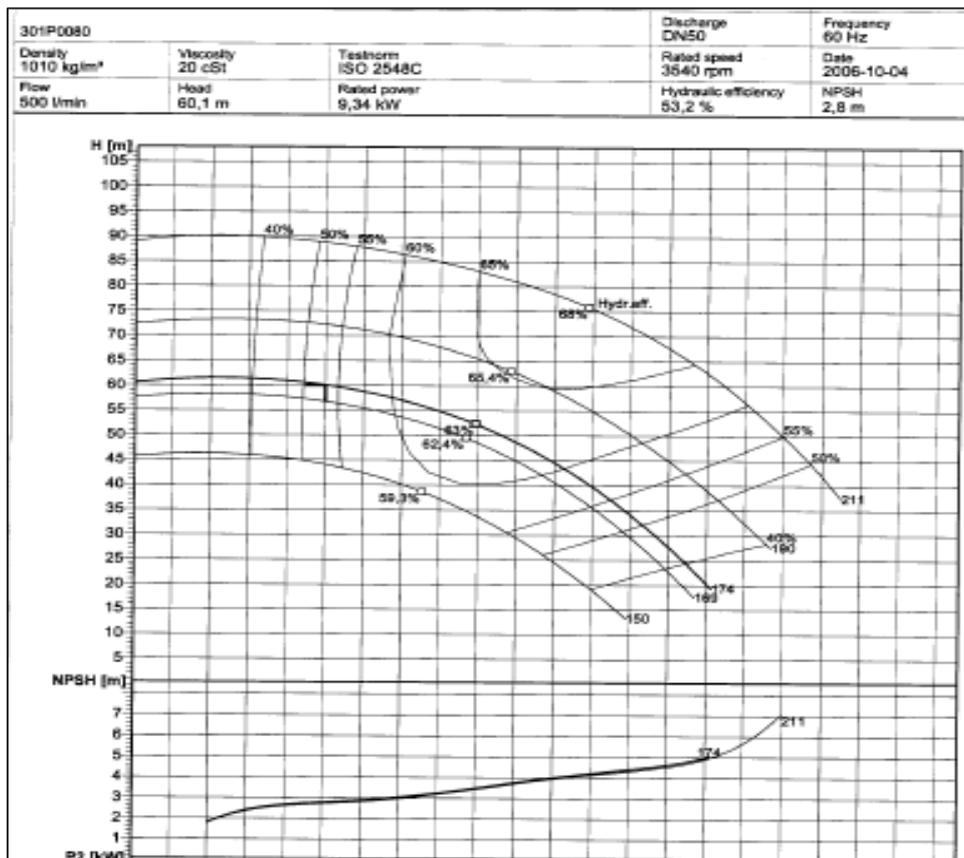


Fonte: Adaptado de CBT Voith, 2006.

3.1. Identificação da Bomba

A bomba utilizada no sistema tem a curva de performance mostrado na figura 11 conforme o arquivo técnico disponibilizado pelo fabricante.

Figura 11 – Curva de performance da bomba de amido.



Fonte: ScanPump, 2018.

3.2. Identificações do Chuveiro

Chuveiro para aplicação de amido cru foi adaptado do chuveiro de lubrificação KADANT com entrada e saída modificada para recirculação de amido

3.2.1. Instruções para Instalação

Para os chuveiros com bicos de jato tipo cone oco, é importante que o chuveiro seja instalado de tal maneira que a altura mínima do jato seja garantida. Isso irá garantir que tanto um funcionamento adequado como uma sobreposição de jato de 8 a 12%.

Um suporte rígido deve ser providenciado pelo cliente e depois de conectado sua entrada de amido e o retorno, o chuveiro está pronto para operação.

3.2.2. Alimentação Inicial

É recomendado que a alimentação do chuveiro seja feita lentamente até que um padrão de jato contínuo tenha sido estabelecido com o objetivo de evitar quaisquer danos ao sistema.

Após a pressão de projeto tenha sido ajustada, o chuveiro deve ser preenchido para assegurar um funcionamento adequado e pré-carregar as vedações internas

para evitar que vazamentos ocorram.

3.2.3. Instruções de Operação

Após alimentar o chuveiro, verificar o padrão de jato dos bicos e possíveis vazamentos nos mesmos e nas conexões de alimentação e retorno. Caso o padrão de um ou mais bicos não esteja estabelecido ou com falhas, o bico pode estar sujo e/ou entupido.

Interrompa a alimentação para que possa remover o bico com problemas e efetuar sua limpeza ou troca. Recoloque o bico e proceda novamente da mesma maneira.

Se vazamentos nas conexões do chuveiro e dos bicos forem visíveis, verificar suas instalações a procura de folgas e caso existentes, providenciar suas correções (aperto).

3.2.4. Manutenção

Nenhuma atenção especial é necessária para todo o chuveiro.

Peças e partes substituíveis dependem do uso, da limpeza e do fluido. Apenas 3 componentes podem vir a ser substituídos:

- Bico 1/2BD-316SS15: se qualquer falha, distorção ou não uniformidade no padrão de jato for visível. (6 meses)
- Junta de vedação DN 3": se qualquer vazamento for visível. (2 a 3 anos)
- Junta de vedação DN 4": se qualquer vazamento for visível. (2 a 3 anos)

Estas são projeções médias de vida útil das quais devem apenas ser usadas como referência.

3.2.5. Instalação dos Bicos

Para bicos de jato tipo cone ocos (figura 12), modelo original, e o atual de leque (figura 13) não há preocupação de orientação do jato em relação aos demais jatos, porém é muito importante que o jato esteja posicionado à 90° em relação ao plano de pulverização (tela). Qualquer ferramenta como uma chave inglesa, por exemplo, pode ser usada para remoção e fixação dos mesmos.

Apenas recomenda-se cuidado na fixação (aperto) para que a rosca dos bicos não seja danificada.

Figura 12 – Bico modelo cone oco.



Fonte: Spraying Systems, 2018.

Figura 13 – Bico modelo jato leque.



Fonte: Spraying Systems, 2018.

3.3. Testes Físicos

Os testes que espelham diretamente o resultado desse sistema são denominados como ‘Ply Bond e Delaminação’, não são exclusivos para a aplicação de amido cru, mas contribuem de forma direta ao resultado de não aplicação, podendo perceber assim a separação de camadas com mais facilidade em alguns pontos.

O princípio de medição refere-se a resistência interna que é dada pela perda de energia potencial sofrida pelo mecanismo que ao provocar o impacto que delaminação a amostra em duas camadas. A importância no caso de papel cartão para embalagens de líquidos, é que o maior problema conhecido, é a delaminação após a laminação com polietileno, mais precisamente no rolo resfriador. Para cartões o problema mais comum de um papel com baixo Ply Bond é a delaminação na “orelha” das caixas, principalmente durante o envase automático (Klabin 2009).

4. RESULTADOS

Pelos dados obtidos de todo o sistema, podemos realizar alguns cálculos pertinentes as análises de dimensionamento da bomba, da tubulação de transporte e do tubo dispersor. Foi encontrada informações técnicas cruciais para o desenvolvimento futuro e a obtenção de resultados.

Um dos exemplos é o NPSH requerido pela bomba:

$$NPSH_{req} = 10 - H_s + \frac{v^2}{2g} + 0,5$$

A velocidade pode ser encontrada pela vazão de aplicação que no campo indica 0,004m³/s pela área da tubulação de diâmetro 6 polegadas:

$$Q = v \cdot a$$

$$v = \frac{0,0133}{0,01824}$$

$$v = \frac{0,0133}{0,01824} = 0,731\text{m/s}$$

Então o NPSH da bomba de mesmo nível do tanque, segundo o fornecedor:

$$NPSH_{req} = 10 - 0 + \frac{0,731^2}{2g} + 0,5$$

$$NPSH_{req} = 10,527\text{m}$$

Para calcular a distância da bomba até a entrada do tubo dispersor foi necessário a verificação em campo, então somamos:

$$57,87 + 92,45 + 15,87 + 57,8 = 229,92 \text{ m}$$

Simultaneamente referente a distância do recalque até o pipe rack, tubulação do pipe rack, entrada no prédio da MP e chegada até o tubo dispersor.

Partindo do conhecimento do comprimento da tubulação e todos os componentes que são mostrados anteriormente pode-se calcular a perda de carga no comprimento linear da tubulação e em cada componente sabendo que o material é Aço Inoxidável AISI 316. Através de tabelas e formulas prontas (figura 14) chegamos a um total de perda linear de:

$$10,25 \text{ mca}$$

Figura 14 – Tabela de cálculo de perda linear.

PERDA DE CARGA EM TUBULAÇÕES			
Memória de cálculo			
Serviço:			
Fluido: Amido cru			
Material da linha: Aço inoxidável			
Propriedades do fluido		Características da linha	
Densidade (kg/m ³):	1010	Comprimento equivalente (m):	229,92
Viscosidade (cP):	20,02	Rugosidade (ε, mm):	0,01500
		Rugosidade relativa (ε/D):	1,48E-04
Dados de processo			
Vazão (m ³ /h):	48,00	Perda de carga (kgf/cm ²):	1,03
Diâmetro interno tubo (pol):	4,000	Perda de carga (mca):	10,25
Fator de atrito:	0,0325	Velocidade (m/s):	1,64
Nº de Reynolds:	8,43E+03	Tipo de escoamento	Turbulento
Fórmulas:			
$\Delta P = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$ $\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3,715} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right)$ <p style="text-align: center;">Equação de Colebrook</p>		$f = \left(A - \frac{(B-A)^2}{C - 2B + A} \right)^{-2} = 0,0325$ $A = -2 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3,715} + \frac{12}{Re} \right) = 5,67E+00$ $B = -2 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3,715} + \frac{2,51A}{Re} \right) = 5,53E+00$ $C = -2 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3,715} + \frac{2,51B}{Re} \right) = 5,55E+00$	

Fonte: CQD tecnologia, 1999.

Somando a perda de carga linear e a perda de todos os componentes (valores tabelados) com a altura do recalque até o ponto de aplicação, temos:

$$10,25 + [(20 * 4,3) + (2 * 5,87)] + 11,34 + 6,55 = 125,88 \text{ m}$$

O valor encontrado expressa uma não conformidade, devido estar muito além do limite máximo aceitável pela análise da bomba.

5. CONCLUSÃO

Analisando a curva de performance concluí se que com vazão à 800 l/min na tubulação de 4 polegadas, a perda de carga afeta a eficiência da bomba, sendo necessário uma análise mais aplicada e um estudo para viabilizar o processo.

O objetivo é sanar o problema para alterar os resultados. A melhora nos testes físicos do papel cartão como 'Ply Bond e Delaminação' serão reflexo de uma melhora nesse sistema de forma direta e indireta.

As características dos bicos atuais estão citadas abaixo, estão num processo

de análise e uma possível troca para algum modelo que atenda melhor a necessidade exigida atualmente.

- Padrão jato aberto com área de impacto em forma distribuída.
- Gotas de tamanho pequeno a médio.
- Distribuição uniforme sobre uma grande variedade de taxas de vazões e pressões.
- Capas de pulverização intercambiáveis dentro de cada grupo de tamanho de conexão de entrada para maior versatilidade possível no perfil transversal.
- A melhora no sistema deve ser referente a alteração no layout para uma menor perda de carga.

REFERÊNCIAS

BERNI, M.; BAJAY, S.; GORLA, F. **Oportunidades de eficiência energética para a indústria: Setor Papel e Celulose**, CNI, Brasília, 2010.

BRACELPA. **Associação Brasileira de Celulose e Papel**. História. <http://bracelpa.org.br/bra2/?q=node/170>. Acesso realizado em 20/04/2018.

IGGESUND PAPERBOARD. **The paperboard process**. Products.iggesund.com, 2014.

KLABIN PAPÉIS MONTE ALEGRE. **Produção de celulose e papel**. Dados obtidos em treinamentos projeto MA1100, 2007.

DEGANUTTI, CYBELE. **Engineer Process**. Produção de papel cartão, 2012.

SPRAYING SYSTEMS. **Bicos Automação Análise Técnica Sistemas**. Especialistas em Tecnologia de Pulverização. <http://www.spray.com.br/index.aspx>. Acesso realizado em 20/04/2018.

VOITH PAPER. **Fabricação e montagem industrial na área de papel e celulose**. Dados obtidos em treinamentos projeto MA1100, 2007.

EXCELL BOMBAS. **Bombas para industriais químicas e polpa celulósica**. Scanpump, 2012.

METSO. **Sistemas de controle e equipamentos para indústrias de celulose e papel**. Arquivo técnico acompanhado do equipamento, 2015.

PROTÓTIPO DE BANCADA DE ANÁLISE DE VIBRAÇÃO



Renan Moraes Ferraz¹ Kevin Mauricio Menon Ribeiro²

RESUMO

O presente trabalho se trata de uma das dificuldades encontradas no ensino da engenharia, que é promover a interação entre a teoria e a prática, demonstrando como é a realidade na indústria e suas melhores práticas atuais. Portanto, observando uma oportunidade na área de vibração, podemos atenuar a falta da prática através de uma bancada de vibração, verificando sinais e aprender algumas técnicas de monitoramento de análise de vibração. Esse tipo de técnica é conhecido como manutenção preditiva, manutenção baseada na condição (CBM), no qual tem como objetivo, antecipar a quebra de um equipamento, ganhar tempo para um melhor planejamento, através de análises, que podem ser termográficas, análise de vibração, inspeção por ultrassom, análise do óleo, entre outras. É importante no projeto fazer as simulações de esforços no eixo, pois isso fará com que o material que for utilizado não irá ter falhas no processo. As falhas derivadas dos defeitos encontradas serão computadas para comparar no que temos em literatura disponível e em outros artigos já existentes. Assim, a construção será um benefício para os estudantes de engenharia que poderá usufruir a bancada e melhorar seus conhecimentos em vibrações, e melhores técnicas empregadas na indústria.

Palavras-chave: Vibração; Teoria; Prática.

ABSTRACT

The present work deals with one of the difficulties encountered in engineering teaching, which is to promote the interaction between theory and practice, demonstrating how the reality in the industry and its current best practices are. Therefore, by looking at an opportunity in the area of vibration, we can mitigate the lack of practice through a vibration bench, checking for signs and learning some vibration analysis monitoring techniques. This type of technique is known as predictive maintenance, condition-based maintenance (CBM), in which the objective is to anticipate the breakdown of an equipment, to gain time for better planning through analyzes, which may be thermographic, vibration analysis, ultrasonic inspection, oil analysis, among others. It is important in the project to make the stress simulations on the axis, as this will cause the material that is used will not have flaws in the process. The failures derived from the defects will be computed to compare what we have in available literature and in other existing articles. Thus, the construction will be a benefit for engineering students who will be able to enjoy the bench and improve their knowledge in vibrations, and the best techniques employed in the industry.

Key-words: Vibration; Theory; Practice.

¹ Acadêmico de engenharia mecânica na FATEB <renanferraz@outlook.com.br>

² Professor mestre orientador na FATEB <eng.kevin.mmr@gmail.com>

1. INTRODUÇÃO

Os fenômenos vibratórios são vistos em várias situações diárias, de uma forma ou outra, em nossas vidas. No ser humano estão presentes no sistema auditivo, no sistema respiratório, e na comunicação, ou em qualquer outra atividade que envolva a propagação de ondas mecânicas (BALACHANDRAN e MAGRAB, 2016).

Na área de engenharia o estudo da teoria das vibrações está relacionado, principalmente, no projeto de máquinas e estruturas, no diagnóstico e prevenção de falhas e nos sistemas de controle (INMANN, 1996).

As demandas contemporâneas de elevar os índices de produtividade exigem que as máquinas operem com velocidades elevadas e, que sejam construídas de materiais eficientes que corroboram para a concepção de estruturas leves, permitindo, portanto, que o fenômeno da ressonância apareça com maior frequência, resultando, por sua vez, em uma perda de confiabilidade dentro do sistema produtivo (SHABANA, 2012).

Neste contexto, a execução de medições e análise experimentais de vibrações em máquinas e estruturas, são processos essenciais que devem ser realizados para garantir as margens de segurança adequadas no processo produtivo (BALACHANDRAN e MAGRAB, 2011, RAO, 2010).

Assim, torna-se imprescindível qualificar profissionais que sejam capazes de realizar análise de vibrações, de medidas obtidas experimentalmente, em máquinas e estruturas (SILVA, 2012).

Contudo, no cenário atual, os alunos de engenharia quando cursam as disciplinas relacionadas ao estudo dos fenômenos vibratórios, geralmente estudam-no de maneira teórica, a partir do estudo das equações diferenciais ordinárias que representam o comportamento dinâmico do sistema (VARANIS, et all, 2016). Portanto, a compreensão e o entendimento dos alunos são dificultados pela falta de atividades práticas e experimentais, que contribuem para uma melhor visualização dos fenômenos vibratórios, tanto no contexto acadêmico, quanto no contexto industrial (SILVA, 2012).

Um dos principais limitadores para a execução das praticas experimentais é o custo dos equipamentos para medição, instrumentação e controle de vibração, que na sua grande maioria, são de alto custo e alta complexidade envolvida (VARANIS et al., 2018; GONZÁLES; 2014).

Face ao exposto, o presente trabalho tem como objetivo a construção de uma bancada de baixo custo que proporcione a visualização das vibrações, inerentes aos principais modos de falhas, presentes nos equipamentos industriais, para fins didáticos e de aprendizado.

2. METODOLOGIA

Para a execução do trabalho inicialmente será realizado uma revisão de literatura dos principais aspectos relacionados às vibrações mecânicas e aos principais modos falhas, decorrentes dos fenômenos oscilatórios em sistemas rotativos, encontrados no âmbito industrial.

Posteriormente, será projetada uma bancada didática que busque mimetizar os principais modos de falhas encontrados na literatura. Para isso, a bancada didática será modelada através de um software CAD e depois simulada numericamente, via elementos finitos, com o intuito de visualizar e entender os fenômenos vibratórios desejados pela bancada projetada.

Após a etapa de projeto, serão confeccionados e montados todos os componentes para a bancada.

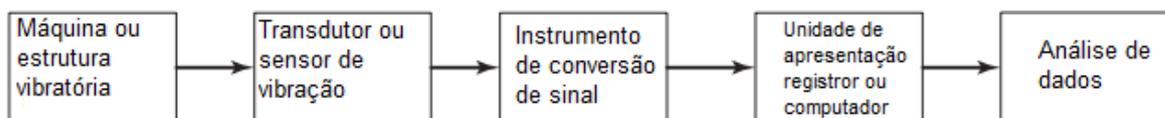
Por fim, com o objetivo de realizar a validação da bancada proposta, os dados obtidos experimentalmente serão comparados com os dados já existentes na literatura e com os resultados obtidos a partir da simulação numérica.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1 Estruturas Básicas para a Medição de Vibrações

A figura 1 ilustra os aspectos básicos de um esquema de vibração.

Figura 1 – Esquema básico de medição de vibração



Fonte: Rao, 2010.

O movimento do corpo vibratório é convertido em um sinal elétrico pelo transdutor ou sensor de vibração. Em geral, um transdutor é um dispositivo que transforma em quantidades mecânicas (como deslocamento, velocidade, aceleração ou força) em quantidades elétricas (como tensão ou corrente). (RAO, 2010).

Dependendo da quantidade medida, um instrumento de medição é denominado vibrômetro, velocímetro, acelerômetro, medidor de fase ou medidor de frequência. (RAO, 2008).

As seguintes considerações costumam determinar o tipo de instrumento de medição de vibração a ser usado em teste de vibração: (1) faixas esperadas das frequências e amplitudes, (2) tamanhas das máquinas/estruturas envolvidas, (3) condições de operação da máquina/equipamento/estrutura e (4) tipo de processamento de dados usado. (RAO, 2010).

3.2 Monitoração e Diagnósticos de Falha

A maioria das máquinas baixos níveis de vibração quando seu próprio projeto é adequado. Em operação, todas as máquinas estão sujeitas a fadiga, desgaste, deformação e acomodação da fundação. Esses efeitos provocam um aumento nas folgas entre as partes concordantes, desalinhamentos entre eixos; início de trincas em peças e desbalanceamento em rotores, e tudo isso gera um aumento no nível de vibração, que causa cargas dinâmicas adicionais nos mancais. Com o passar do tempo, os níveis de vibração continuam a crescer, o que, afinal, resulta em falha ou avaria da máquina. Alguns tipos comuns de falhas ou condição de operação que resultam no aumento dos níveis de vibração em máquinas são: eixos empenados, eixos excêntricos, componentes desalinhados, componentes desbalanceados, mancais defeituosos, engrenagens defeituosas, impulsores com pás defeituosas e peças mecânicas frouxas. (RAO, 2010)

3.3 Diagnósticos de Falhas em Máquinas Rotativas

Instrumentos de medição de vibração são, nos dias atuais, a ferramenta mais importante para análise de condições operacionais de um sistema mecânico rotativo, com softwares especializados, esses instrumentos são capazes de identificar falhas como; desalinhamento, desbalanceamento, falhas em rolamentos, falhas em engrenagens, má fixação do equipamento, excentricidade, ressonâncias, folgas, etc (NILSON, 2016).

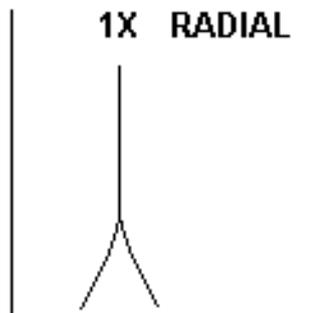
3.4 Desbalanceamento

A presença de uma massa excêntrica ou desbalanceada sobre um sistema rotativo causa vibração, que pode ser aceitável até certo nível. Se a vibração causada por uma massa desbalanceada não for aceitável, ela pode ser eliminada pela remoção da massa excêntrica ou pela adição de uma massa igual em posição tal que cancele o efeito do desbalanceamento. Para usar esse procedimento, precisamos determinar a quantidade e a localização da massa excêntrica por métodos experimentais. Na prática, o desbalanceamento de máquina pode ser atribuído a irregularidades como erros na usinagem e variações no tamanho dos parafusos, porcas, rebites e soldas (RAO, 2010).

3.5 Análise de Espectro

As características do desbalanceamento são fáceis de entender. Ela existe quando a distribuição de massas de um rotor não é uniforme em relação a um eixo de inércia. (SILVA, 2012)

Figura 2 – Espectro de desbalanceamento.



Fonte: Silva, 2012

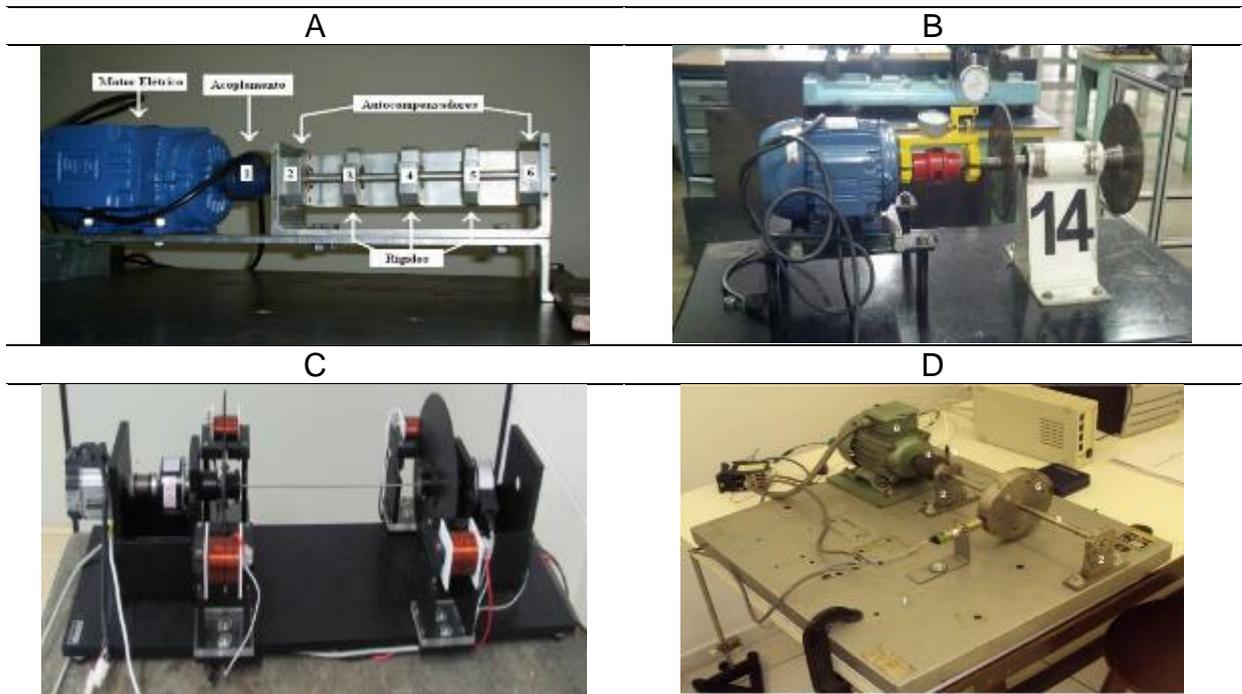
3.6 Bancadas de Teste

Antes de iniciar o projeto da bancada didática para ensaio de vibrações, foi realizada uma revisão bibliográfica de trabalhos semelhantes, para dar o embasamento teórico necessário para o projeto e construção da bancada proposta.

Muitos artigos, teses e outros tipos de trabalhos foram encontrados, no entanto, a maioria deles não descreve detalhadamente o projeto da bancada de testes e nem discute sobre o processo de fabricação para sua fabricação e montagem, apenas fornecem o projeto na sua forma final (PACHOLOK, 2004; MEOLA, 2005; ABREU ET AL, 2007).

Na tabela 1 são mostradas algumas bancadas didáticas encontradas na literatura.

TABELA 1: Bancadas de testes.

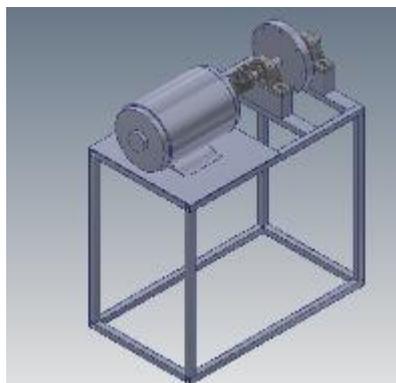


Fonte: (A) Moela, 2005; (B) Lima, 2014; (C) Acosta, 2013;(D) Silva,2012.

Assim com base na revisão de literatura realizada foi possível projetar uma bancada didática semelhante, que tem como objetivo mimetizar problemas de desbalanceamento encontrados em situações reais em aplicações industriais. Vale salientar que todo o projeto (desenho em CAD e simulações), foi realizada pelo software Inventor Professional 2018, licença: Education Stand-alone, Chave: 797J1.

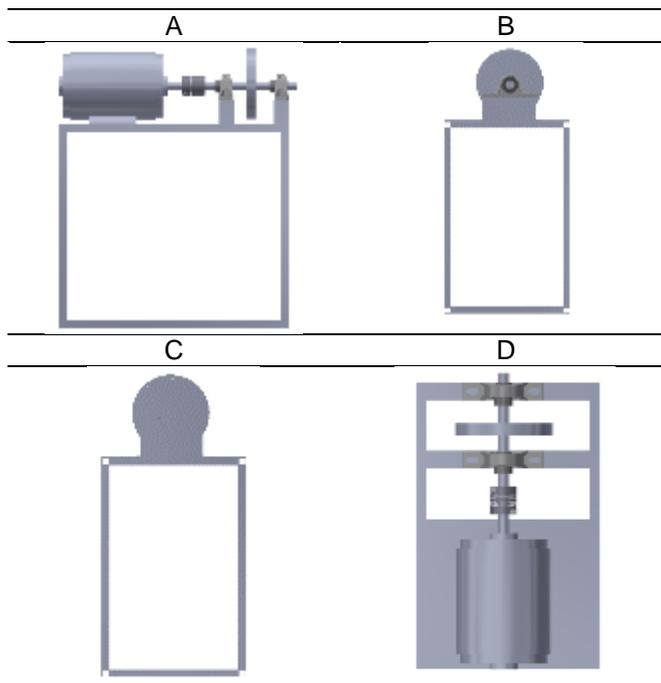
Na figura 3 e na tabela 2 é mostrada a vista isométrica e as vistas frontal, superior e lateral, respectivamente.

Figura 3 - Vista isométrica.



Fonte: Autor, 2018

Tabela 2 – Vistas das bancadas



Fonte: Autor, 2018

3.7 Simulações Numéricas

Esta etapa tem como objetivo verificar a resistência mecânica do eixo, devido à força de desbalanceamento e verificar as frequências naturais da bancada. Para isto foi realizado simulações numéricas pelo método de elementos finitos, com o uso do pacote de simulação disponível no software Invertor.

Primeiramente foi realizada uma análise estática considerando uma força desbalanceada de 0,280N a qual foi inicialmente estimada analiticamente através da seguinte relação.

$$F_D = me\omega^2 \cos \omega t$$

Onde: F_D é a força de desbalanceamento, m a massa desbalanceada, e a distância excêntrica que causa o desbalanceamento e ω é a frequência de excitação.

Posteriormente a análise estática foi realizada uma análise modal para identificar o formato dos principais modos de vibrações e suas respectivas frequências naturais.

Durante o projeto adotou-se como material do eixo o aço inoxidável e do rotor desbalanceado o náilon. As propriedades mecânicas do aço inoxidável e do náilon são expostas na tabela 2.

Tabela 3 – Materiais da bancada para análise

Material	Módulo de Elasticidade	Tensão de Escoamento	Coefficiente De Poisson
----------	------------------------	----------------------	-------------------------

Aço inoxidável AISI 302	190GPa	150MPa	0,30
Náilon 6/6	2,8GPa	45MPa	0,33

Fonte: adaptado de Beer, 2012

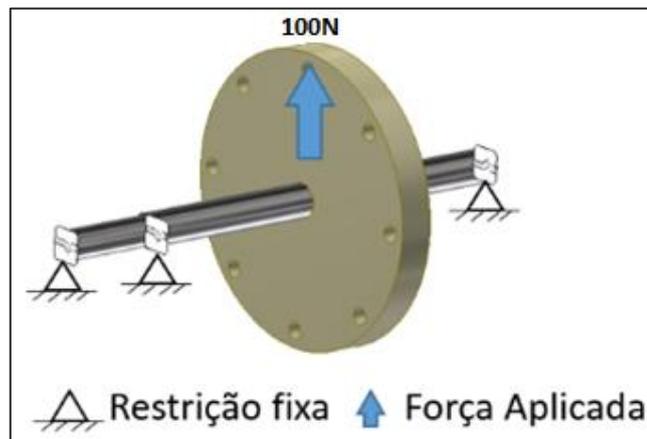
Na tabela 4 e na figura 4 são mostrados os parâmetros utilizados na simulação e as condições de contorno adotadas.

Tabela 4 – Materiais da bancada para análise

Tipo de Elemento	Numero de Elementos	Número de nós
Tetraedro	17165	26995

Fonte: Autor, 2018

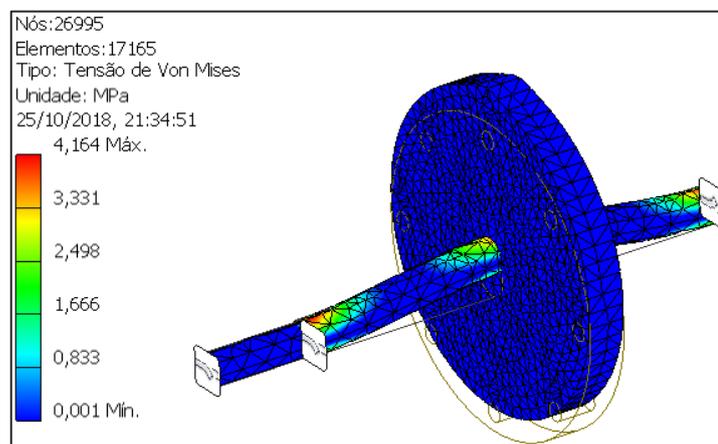
Figura 4 – Condições de Contorno.



Fonte: Autor, 2018

Como o eixo e o rotor são materiais dúcteis foram analisadas as distribuições das tensões de Von-Mises no conjunto. O resultado destas distribuições de tensão é mostrado na figura 5.

Figura 5 – Tensão de Von Mises estáticas.

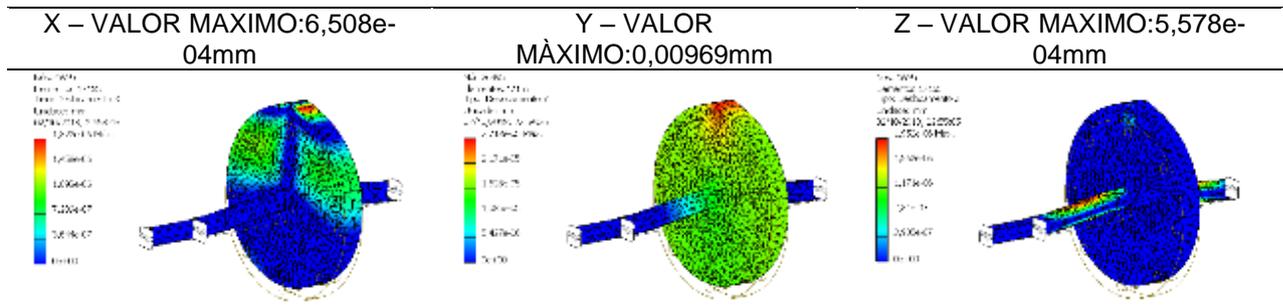


Fonte: Autor, 2018

As tensões máximas que foram encontradas através da simulação foi de 0,01166MPa, sendo muito menor que o limite de escoamento dos materiais selecionados.

Na tabela 5 são mostrados os deslocamentos (deflexões) em cada direção a qual o conjunto (eixo e rotor desbalanceado) está sujeito.

Tabela 5 – Deslocamentos



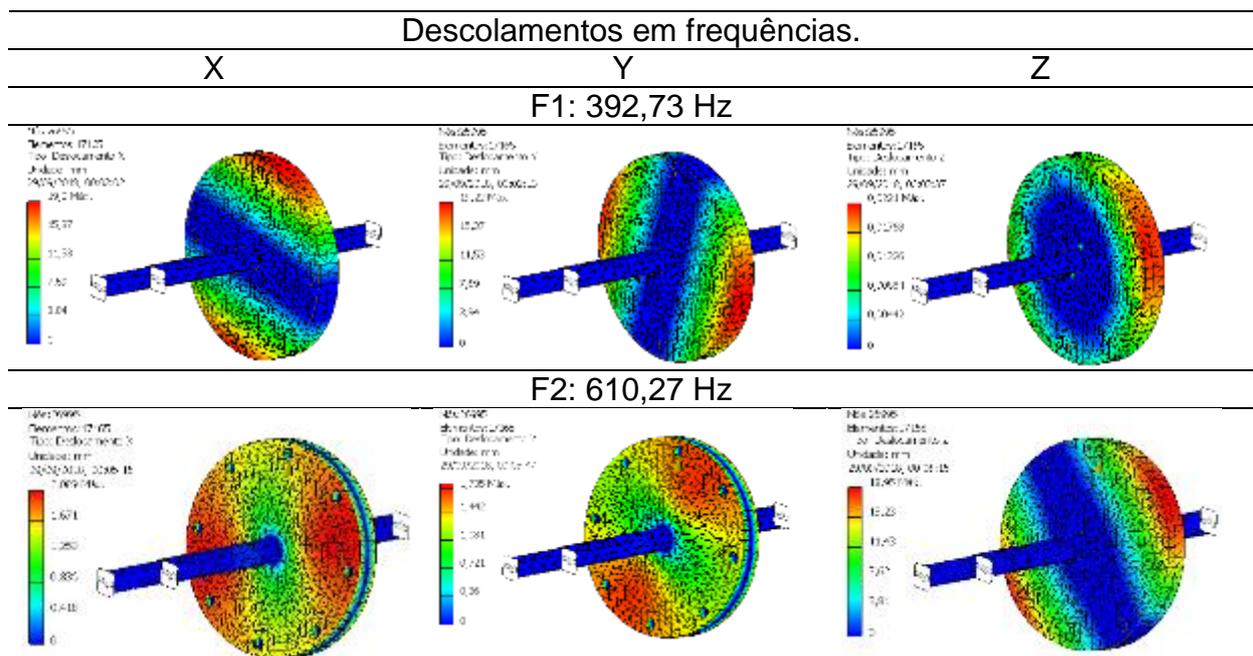
Fonte: Autor

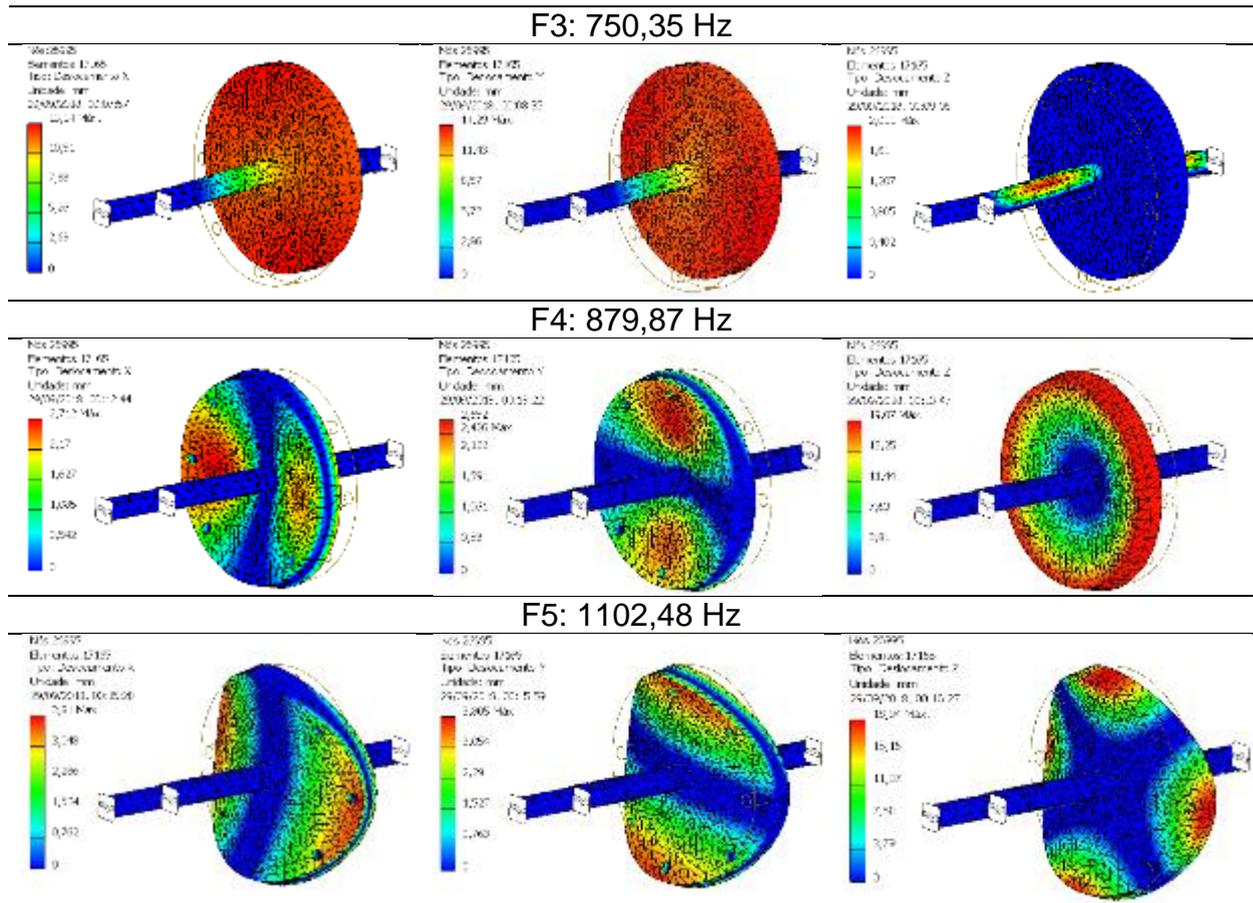
Com base na tabela 5 foi verificado baixos valores de deslocamentos em todas as direções demonstrando assim (com base nesse critério) que os materiais selecionados e a configuração geométrica do conjunto proposto são aptos para a aplicação desejada.

Com o intuito de avaliar as frequências de ressonância do sistema, são mostrados na tabela 6 os cinco primeiros modos de vibração e as suas frequências naturais correspondentes.

Vale salientar que esta análise é necessária, pois a partir dela é possível identificar as frequências que podem acarretar em problemas de ressonâncias que no sistema. Além disso, é possível com análise ainda ter o conhecimento de qual o range de frequências de excitação provenientes do motor que se pode trabalhar.

Tabela 6 – Frequências modais do sistema





Fonte: Autor, 2018

3.8 Estimativas de Custos.

Na tabela 7 é mostrada, por sua vez, a estimativas do custo para a fabricação e montagem da bancada proposta.

Tabela 7 – Descrição dos equipamentos.

Descrição	Quantidade	Valor Unitário (Real)	Valor total (Real)
Eixo	1	50,00	50,00
Rotor	1	40,00	40,00
Rolamento	2	12,00	24,00
Mancal	2	10,00	20,00
Motor	1	200,00	200,00
Estrutura	1	40,00	40,00
Acoplamento	1	50,00	50,00
Custo Total			424,00

Fonte: Autor, 2018

4. CONCLUSÃO

A criação de uma bancada de vibração é necessária para que alunos ou pesquisadores de vibração possam aprender à prática de vibração, que hoje em dia é a maior evidencia para que se possa antecipar de feitos em máquinas rotativas.

Projetar e construir a bancada, é o início dos estudos para futuros engenheiros idear projetos maiores, também é importante compreender as frequências de um sistema, para que não venha coincidir com às frequências naturais e aconteça um colapso no equipamento, portanto, começar a fazer os testes modais em simulação já prevê o quanto de frequências poderá ocorrer em um sistema rotativo. A bancada servirá de aproximação ao estudo de vibrações.

REFERÊNCIAS

BALACHANDRAN, B; MAGRAB, E.; **Vibrações Mecânicas** – Tradução da 2ª Edição Norte Americana. New York: CENCAGE Learning, 2011.

BEER, F. P.; JOHNSTON, R. E. e EISENBERG, E.R. **Mecânica Vetorial para Engenheiros**. Vol. Estática. 9ª Ed. São Paulo. 2012.

GARCIA, M.S., **Análise de defeitos em sistemas mecânicos rotativos a partir da monitoração de vibrações**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio Janeiro, Brasil, 2005.

GONZÁLEZ, R. D, **Desenvolvimento de um protótipo analisador de vibração de baixo custo para uso em manutenção preditiva**, Florianópolis, SC, 2014.

INMAN, D. J. **Engineering vibration. Englewood vibration**. Prentice-Hall, 1996.

KRISHNAPPA, G., **Machinery Condition Monitoring, in Encyclopedia of Acoustics**, Vol. II, pp. 869-879, Wiley, 1998.

LIGGAN, P.; LYONS, D. **Applying predictive maintenance techniques to utility systems**. Pharmaceutical Engineering, Vol. 36 No 6. 2011.

VARANIS M.; SILVA, A.; BRUNETTO P.; GREGOLIN, R. **Revista Brasileira de Ensino de Física** 38, 1301, 2016.

VARANIS M.; SILVA, A.; BRUNETTO P.; GREGOLIN, R. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 40, nº 1, e1304, 2018.

VARANIS M.; SILVA, A.; BRUNETTO P.; GREGOLIN, R. **Balthazar Revista Interdisciplinar de Pesquisa em Engenharia-RIPE** 2 44, 2017.

MAHMOOD, S. T., **Use of Vibrations Analysis Technique in Condition Based Maintenance**. Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden. 2011.

MEOLA, T. **Monitoramento em tempo real da qualidade de sinais de vibrações utilizando inteligência artificial**. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brasil, 2005.

NILSON, A. O. **Bancada Acadêmica para Análise de Vibração Mecânica**. 15p. Trabalho de conclusão de curso, Engenharia Mecânica, 2016.

RAO, S.S. **Mechanical vibrations** 5th ed. p. 1170, 2010.

PACHOLOK, M. **Uso da termografia para avaliação do desalinhamento de eixos e máquinas rotativas**. Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Paraná, Brasil, 2004.

SILVA, B. T. V. **Bancada para análise de vibração**. Taubaté, São Paulo, 2012.

TRICICLO PARA LOCOMOÇÃO URBANA



Júlio Fernando da Silva¹, José Eduardo da Silva Neto¹, Juliano Xavier de Oliveira¹, Juliana dos Santos Silva², Márcio José Kloster³.

RESUMO

As dificuldades encontradas por um determinado portador de necessidades especiais, culminou na criação de um protótipo de desenvolvimento mecânico com adaptações personalizadas ao usuário específico desta pesquisa. Durante dois anos o objeto de pesquisa deste trabalho, foi desenvolver algo que unisse um projeto funcional, porém com viés para responsabilidade social, devido ao suporte fornecido ao usuário final do projeto. A metodologia utilizada neste trabalho, adotou como premissa básica, a combinação de pesquisas teóricas com testes práticos, buscando-se desta maneira adoção de conceitos de melhores práticas. Com a interação de alunos diretamente em oficinas, laboratórios e trabalho em equipe, foi fator fundamental para que se obtivesse a percepção do ambiente de trabalho em áreas industriais. E como resultado adquirido deste estudo, realizou-se diversas melhorias de modo a incrementar o triciclo, e torná-lo num veículo único em sua essência, na simplicidade e também na objetividade de proporcionar a melhor relação entre homem e máquina. Com uma mecânica simples já bastante comum no atual cenário do segmento de veículos da categoria de ciclomotores e com manutenção de fácil reparação periódica, a entrega final foi resultante da soma em conjuntos dos esforços adquiridos com a vivência das etapas de cada processo e detalhados nos capítulos a seguir deste artigo científico.

Palavras-chave: Triciclo; acessibilidade; engenharia; desenvolvimento de projetos.

ABSTRACT

The difficulties encountered by a particular handicapped person, culminated in the creation of a prototype of mechanical development with personalized adaptations to the specific user of this research. During two years the research object of this work was to develop something that would unite a functional project, but with bias for social responsibility, due to the support provided to the final user of the project. The methodology used in this work, adopted as a basic premise, the combination of theoretical research with practical tests, seeking in this way adoption of concepts of best practices. With the interaction of students directly in workshops, laboratories and teamwork, was a fundamental factor to obtain the perception of work environment in industrial areas. And as a result of this study, a number of improvements have been made in order to increase the tricycle, making it a unique vehicle in its essence, in simplicity and also in the objectivity of providing the best relationship between man

¹Acadêmico do curso de Engenharia Mecânica na FATEB. <julio metalmeccanica@gmail.com>; <eduardo96.neto@gmail.com>; <julianox@gmail.com>.

²Acadêmica do curso de Tecnologia em Automação Industrial (IFPR). <juhsantosz97@gmail.com>.

³Mestre em Engenharia de materiais (UEPG), Tecnólogo Mecânico (UTFPR) e professor do Instituto Federal de Educação (IFPR). <marcio.kloster@ifpr.edu.br>.

and machine. With a simple mechanics already quite common in the current scenario of the vehicle segment of the category of mopeds and with maintenance of easy periodic repair, the final delivery was the result of the sum of the efforts made with the experience of the stages of each process and detailed in the chapters of this scientific article.

Key-words: Tricycle; accessibility; engineering; project development.

1. INTRODUÇÃO

As dificuldades de acessibilidade nos dias atuais corroboram para uma batalha sem precedentes para a locomoção de um cidadão com necessidades especiais. Normas e regulamentações estabelecem critérios e parâmetros técnicos que auxiliam na orientação de projetos voltados para a engenharia como ABNT/NBR 9050 e a lei nº 10.098/2000, determinando padrões de acessibilidade em ambientes públicos, coletivos e individuais.

Neste contexto também surge o conceito de desenho universal que é fundamental para a produção dos espaços urbanos e arquitetônicos cujo objetivo é favorecer simultaneamente todas as idades e capacidades promovendo um ambiente integrador, que estabeleça formas comuns de vida, de aprendizagem e de trabalho entre pessoas deficientes e não deficientes (STEINEMANN, 1994; STORY, 2001; BAPTISTA e BERNARDI, 2016).

Ambientes públicos de deslocamento como guias e calçadas, devem atender as necessidades de locomoção, assim como ambientes coletivos, praças, bosques entre outros, atendendo assim as mesmas condições de autonomia para a pessoa portadora de necessidades especiais, nesse caso em específicos os cadeirantes.

As normas devem principalmente atender necessidades de autonomia em ambientes individuais, como exemplo os banheiros que precisam ser equipados com barras de apoio, a fim de auxiliarem na adaptação do portador ao ambiente. (PINHEIRO et al 2016; SANTOS et al 2017; SZABO et al 2017).

Contudo, possíveis melhorias nos espaços coletivos e individuais para os portadores de necessidades especiais continuam no centro das discussões das dificuldades impostas pela falta de estrutura e políticas públicas, aos mesmos.

As universidades são de longa data, a esperança para que surjam diferentes pesquisas na busca por soluções inovadoras, porém não menos eficazes para minimizar, senão mitigar, as intempéries sentidas pelos deficientes físicos, na locomoção entre lugares complicados e de difícil acesso dentro dos espaços urbanos de forma a atuarem ativamente na sociedade.

A Lei Nº 10.098/2000, em seu Artigo 2 da Lei de acessibilidade, estabelece normas gerais e os critérios básicos para portadores de deficiência ou com mobilidade reduzida (BRASIL,2000).

Segundo Lima (2000), a acessibilidade é a possibilidade e condição de alcance para utilização, com segurança e autonomia, dos espaços, mobiliários e equipamentos urbanos, das edificações, dos transportes e dos sistemas e meios de comunicação, por pessoa portadora de deficiência ou com mobilidade reduzida (ARAUJO e MAIA, 2016; FRACAROLLI et al 2017);

De maneira mais aprofundada, talvez pudessem ser mais estimuladas as parcerias nas escolas técnicas e universidades, por meio do desenvolvimento de novas ideias para atender a essa demanda, para mesmo que sejam classificadas prematuramente como incubadoras, possam ser primeiramente debatidas, analisadas, confeccionadas, testadas e apresentadas em caráter de validação, ao

seu principal público alvo. Portanto, o seu principal interlocutor, neste caso em discussão, o indivíduo portador de necessidades especiais, seja compreendido de quais as suas reais necessidades, e que porventura possa sugerir um ponto de vista mais crítico em relação ao prisma de engenheiros em processo de formação, e acima de tudo gerar nos acadêmicos um senso pioneirismo de criatividade e busca por inovações para problemas já existentes em relação ao tema da acessibilidade.

De La Torre (2003), diz que a criatividade é carregada de múltiplas conotações, artísticas, científicas, psicológicas entre outras, todas intrínsecas ao ser humano e que se desenvolvem perante um problema. Contudo, ainda há uma vasta área a se desenvolver, seja por necessidade ou por pura inspiração, a definição que melhor possa se encaixar seria provavelmente a criatividade.

Talento ou esforço desenvolvido no ambiente estudantil, técnico ou acadêmico, mas que provém de projetos com elevados índices de assertividade, bem como, de embasamento para outros dispositivos em processos de pesquisa.

Conforme Ostrower (1977), a percepção de si mesmo dentro do agir é um aspecto relevante que distingue a criatividade humana.

Movido por necessidades concretas sempre novas, o potencial criador do homem surge na história como um fator de realização e constante transformação. Ele afeta o mundo físico, a própria condição humana e os contextos culturais (ARAGÃO et al, 2017; BERSELLI, 2017).

Elencando recursos, somados às ideias criativas, que motivam incessantemente a produção de projetos voltados às melhorias de qualidade de padrões de vida para portadores de necessidades especiais, ou condições inaptas para que uma pessoa com limitações de deslocamento possa exercer as mesmas tarefas que qualquer outra pessoa, surge então o papel fundamental, e de relevância social, a ajuda sem interesses comerciais, porém com viés à contribuição voluntária para ajudar aos cidadãos mais prejudicados por meio de trabalhos personalizados ao caso deste estudo.

Esse trabalho foi desenvolvido nos anos de 2015 e 2016, conforme Santos (2016), demonstrando o empenho e pesquisa de alunos do Curso Técnico em Eletromecânica subsequente do Instituto Federal de Educação do Estado do Paraná - IFPR, campus Telêmaco Borba e obteve como intuito de ajudar um portador de necessidades especiais, por meio do desenvolvimento tecnológico de um triciclo motorizado adaptado para cadeira de rodas, comprovou-se que é possível contribuir de forma significativa, solidária e voluntária para auxiliar a vida das pessoas com limitações, tornando-as menos dependente de outros, contribuindo assim para sua autonomia.

2. METODOLOGIA

A produção de projetos mecânicos é baseada no atendimento de requisitos que garantam a confiabilidade e segurança as pessoas que utilizaram tais equipamentos (FIGUEIREDO, 2015).

Segundo Norton (2013), projetos de máquinas requerem segurança e confiabilidade e não somente funcionalidade. Ainda de acordo com Norton, relata que no desenvolvimento de máquinas necessita-se de uma gama de conhecimentos e recursos em áreas como resistência e propriedades dos materiais, estatística e dinâmica.

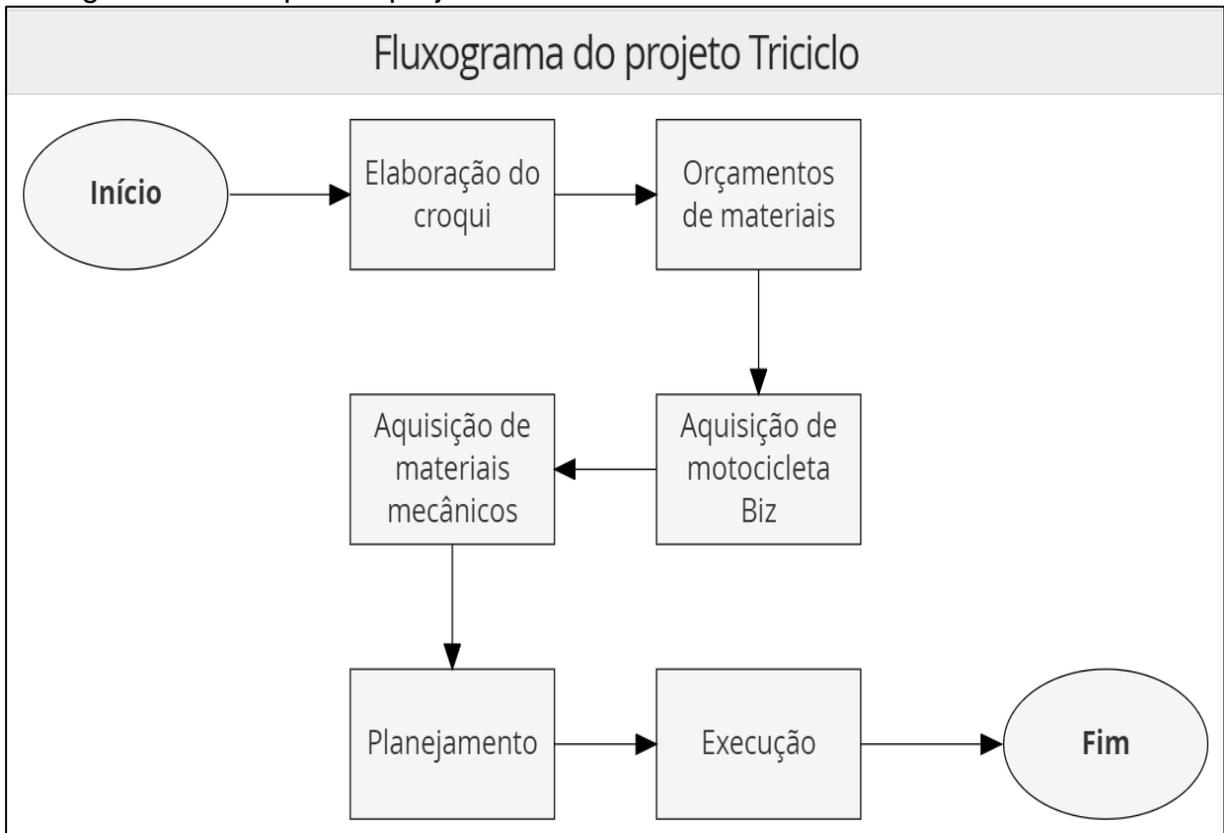
Outros requisitos importantes são as definições entre o cliente, nesse caso o portador de necessidades especiais e o triciclo. O veículo deve atender às

demandas do condutor.

Os requisitos do projeto devem atender as decisões físicas feitas pelo cliente, que auxiliará na produção do projeto, por meio disso serão definidos os parâmetros e as características definitivas do produto. (ROZENFELD e FORCELLINI, 2006).

Como atividade proposta no curso Técnico em Eletromecânica, a metodologia utilizada foi baseada em desenvolvimento de um protótipo que permitisse integração entre conceitos teóricos/práticos, com aplicação, a demonstrando a importância da engenharia na resolução de problemas. Deste modo, as etapas do projeto durante processo de criação avançou com as seguintes fases de acordo com o Fluxograma 1, mostrado a seguir:

Fluxograma 1 – Etapas do projeto Triciclo



Fonte: Autores, 2018.

O grupo de trabalho buscou se organizar em equipe de cinco integrantes com tutoria de um professor, atendendo as responsabilidades necessárias a profissão da área mecânica como, por exemplo, uso adequado de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), percepção dos riscos e perigos durante as operações dos equipamentos, processos de fabricação e gerenciamento do espaço de trabalho.

3. DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento de projetos voltados a locomoção humana é algo que necessita de grande energia tanto para a produção quanto para o desenvolvimento, sendo necessário a criatividade na elaboração e execução.

Segundo Carpes (2014), a criação e a evolução contínua dos produtos podem ser melhoradas com a educação mais voltada para a criatividade, que assim como as habilidades do projetista e a qualidade do projeto, cresce com as

experiências vividas, estudo de casos e produtos semelhantes. Essa valorização da criatividade ocorre devido à dificuldade de projetar algo inovador.

A concretização da ideia do projeto de dispositivo voltada a locomoção urbana para suporte ao portador de necessidades especiais, iniciou do trabalho de um curso técnico. O pioneirismo no assunto forçou o desenvolvimento de um protótipo personalizado para atender às principais necessidades demandantes do projeto.

Na sequência foram realizadas as compras dos materiais conforme Quadro 1, a motocicleta Honda Biz ES Ano 2008, 100 cilindradas, representou o maior custo e apesar de adquirida em leilão, por conseguinte foram levantados os demais materiais mecânicos descritos a seguir:

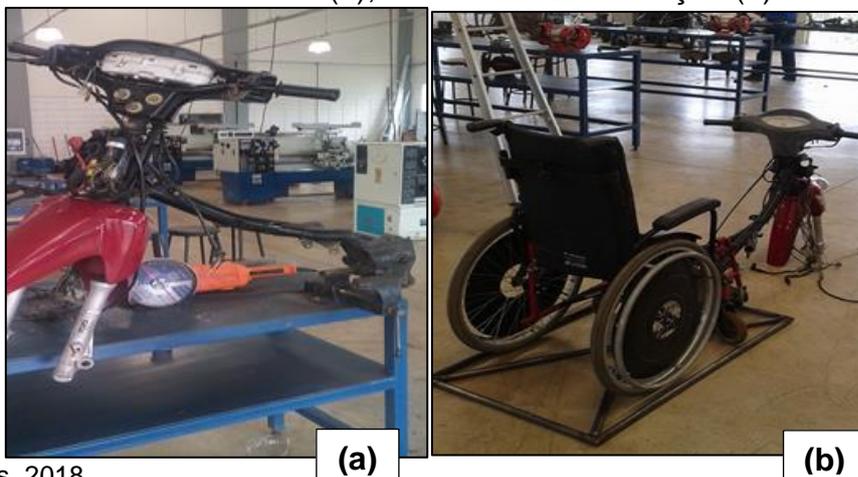
Quadro 1 - Lista de componentes

Moto Honda Biz ES Ano 2008 100cc;
Cabos de freio;
Lâmpadas;
Chapas e tubos metálicos;
Bateria 12v;
Rodas Diant.: 60/100 – 17 pol., Tras.: 80/100 – 14 pol.;
Motor 99 cm³;
Tintas;
Suspensão dianteira;

Fonte: Autores, 2018.

A primeira etapa começou com pré-projeto, sendo aprimorado na sequência em software específico para essa finalidade, neste caso o AutoCAD versão 2015, o qual foi fundamental para prover suporte as medições para confecção das peças. Utilizou-se de uma esmerilhadeira angular 7" - GWS20180 marca Bosch contendo disco de corte para metal, o qual auxiliou no corte estrutural do chassi original da motocicleta, permanecendo apenas as partes interessadas ao desenvolvimento do triciclo, como pode ser observado na Figura 1a. Os cortes dos tubos foram baseados nas medidas desenvolvidas pelo software. Em seguida, foram realizadas soldas entre os pontos de ligação dos tubos, assim formando a estrutura metálica do chassi como mostra a Figura 1b.

Figura 1 - Parte do chassi cortado (a), Quadro de Sustentação (b)



Fonte: Autores, 2018.

Foram instaladas chapas laterais com espessuras de 1 mm, cujo material aço carbono SAE 1020, essas chapas proporcionaram ao chassi maior robustez, bem como maior segurança ao condutor do triciclo, levando em consideração que esteticamente ficou com uma ótima aparência, como mostra a Figura 2.

Figura 2 - Instalação de chapas laterais



Fonte: Autores, 2018.

Na sequência iniciou-se definitivamente a confecção e instalação dos suportes para fixação destacada em vermelho na Figura 3, que serviram como ponto de apoio onde foram fixadas as rodas traseiras do triciclo. Esses suportes foram confeccionados com uma barra chata de 3 polegadas, em aço carbono SAE 1045.

Figura 3 - Instalação dos suportes das rodas traseiras



Fonte: Autores, 2018.

Ao realizar a solda definitiva dos suportes na estruturas, foi imprescindível conferir se os mesmos estavam alinhados e nivelados, pois esse componente do triciclo é o que garantiu que as rodas estivessem alinhadas nos eixos radial e axial.

Para fazer o fechamento traseiro do cockpit, utilizou-se uma chapa xadrez, com espessura de 2 mm. Com base na realização de testes práticos para se obter maior precisão e ser o mais assertivo possível, pois a mesma tampa servirá também como rampa de acesso, na qual o condutor utilizou como seu principal meio de acesso ao cockpit, Nesta etapa foi necessário maior cautela, pois dependendo da inclinação em que a rampa estaria situada, poderia atrapalhar deslocamento da cadeira de roda, como mostra a Figura 4.

Figura 4 - Teste da rampa



Fonte: Autores, 2018.

Também foi instalado uma corrente metálica de aço carbono SAE 1020 (convencional), na parte superior, como auxílio ao condutor do triciclo para fechar a rampa junto a traseira do cockpit, voltando a função como tampa. A corrente foi fixada com auxílio de arruelas e porcas.

Verificou-se necessidade de inserir proteções, visando a segurança e ajudando a restringir respingos de lama, gerados em dias chuvosos, por exemplo. Essas proteções foram adquiridas como doação de uma determinada empresa. Utilizado um torno mecânico para a usinagem de um novo eixo em aço carbono SAE 1045, o qual foi fixado na extremidade do mesmo para prolongamento do sistema da caixa de transmissão, conforme Figura 5. Como foi necessário deslocar o sistema de transmissão na parte lateral do triciclo, foram utilizados dois mancais modelo pedestal com bucha, ou seja, sistema deslizante como ponto de apoio.

Figura 5 - Eixo de tração



Fonte: Autores, 2018.

O sistema de transmissão do acionamento foi feito por corrente, composta por duas engrenagens dentadas de metal, para obter o torque e velocidade buscando um melhor resultado previstos neste sistema. A coroa (pinhão) contendo 14 dentes foi instalada no eixo dianteiro do sistema de transmissão e a coroa da roda traseira contendo 36 dentes.

Muito importante respeitar o tensionamento da corrente, não deixar excessivamente tensionada, pois isso contribuiria com o desgaste prematuro dos componentes e caso a corrente estivesse frouxa, poderia vir a soltar dos dentes das engrenagens e ocasionar um travamento repentino no movimento do triciclo.

Para uma boa acessibilidade ao sistema de trocas de marchas, utilizou uma haste do câmbio do Fiat Uno, conforme a Figura 6, para prolongar até que ficasse em uma altura ideal ao condutor.

Figura 6 - Câmbio de marchas



Fonte: Autores, 2018.

Realizado as medidas para confecções do guidão, alavanca de câmbio e ajustes dos instrumentos de comando, conforme Figura 7, com a utilização do próprio cadeirante beneficiado do projeto, bem como garantir a precisão necessária da adaptabilidade do triciclo no intuito de evitar possíveis falhas de montagem, e também melhorar o conforto e segurança na condução do veículo.

Figura 7 - Medições para posicionamento do guidão

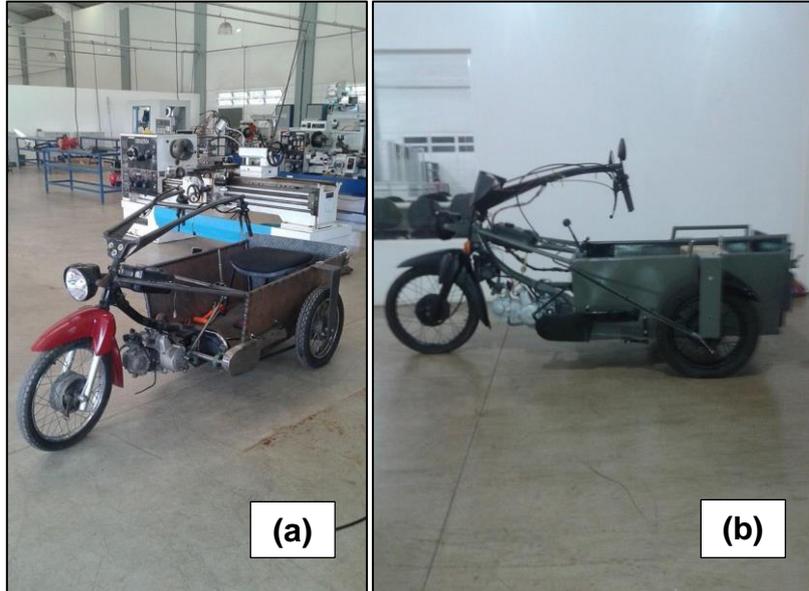


Fonte: Autores, 2018.

Após a montagem mecânica, a próxima fase foi a pintura do triciclo, iniciou com aplicação de fundo para preparo da superfície estrutural, em seguida concluiu-se com aplicação de tinta para acabamento final, pois por se tratar de um veículo

que estaria sujeito a riscos e danos por conta da entrada e saída da cadeira de rodas, optou-se por uma pintura mais resistente a base epóxi na coloração cinza, para fins de conservação. Na Figura 8, lado (a) o triciclo sem pintura e ao lado (b) já com a pintura concluída.

Figura 8 – (a) sem acabamento e (b) com a pintura epóxi



Fonte: Autores, 2018.

A montagem do sistema elétrico ocorreu após realizado acabamento e testes da parte mecânica. A etapa elétrica contou com o reaproveitamento dos cabos já existentes na motocicleta Biz, sendo apenas necessário remanejar uma nova distribuição do circuito elétrico, parte frontal com farol de luz baixa e alta, iluminação de painel, buzina e pisca seta, além de sistema de medição do tanque com boia eletrônica. Para a parte traseira do triciclo, luzes de freio e pisca seta. Segue Figura 9 com a imagem abaixo.

Figura 9 - Sistema elétrico de distribuição



Fonte: Autores, 2018.

O sistema elétrico foi montado com uma caixa de distribuição, onde todos os componentes ficaram protegidos contra chuva e umidade, contendo os relés de partida, pisca setas, bateria e fusíveis.

O processo de idealização, transformação e montagem do triciclo, foi baseado em conhecimento dos próprios alunos e algumas reportagens pesquisadas em sites. A montagem do triciclo, como peças e outros adereços foram fabricados dentro da oficina do IFPR, sendo aproveitado diversas peças da motocicleta Honda Biz, assim como motor, painel de instrumentos, suspensão dianteira, rodas e parte do chassi. As demais peças foram fabricadas pelos alunos junto com seu tutor com utilização de torno, fresadora e métodos de ajustagem mecânica. Tendo como único objetivo melhorar o deslocamento de um cadeirante pelas ruas da cidade.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho almejou fornecer uma maior autonomia à locomoção urbana, e isto foi determinante para buscar uma alternativa eficaz que promovesse um veículo transportador com segurança e robustez, mas ao mesmo tempo com simplicidade e eficiência.

Entretanto, a adaptabilidade dos recursos adquiridos foi imprescindível para que não houvesse maiores empecilhos na evolução de cada etapa concluída, sendo o viés do projeto a execução com foco em qualidade na montagem. Assim vencida a etapa de construção e acabamento, o desafio maior se deu com a validação dos testes aplicados para garantir a eficiência de cada processo.

Uma vez validados o conjunto do trabalho realizado, a manutenção das condições de base garantirá a eficiência por um longo prazo sem que haja prejuízos ao usuário do triciclo. Pois a salvaguarda do sucesso deste processo, está na simplicidade dos arranjos ao prover um circuito de engrenagens de fácil manuseio, como também de reposição acessível no caso de uma substituição de peças e sobressalentes.

Ao visar o alcance de condições suficientemente melhores para locomoção urbana, o projeto do triciclo vislumbrou-se a melhor maneira de propor um direito básico ao seu utilizador. Isto preconizou a condição primordial de autonomia para quem busca maior independência em rotinas corriqueiras com intuito de elevar a autoestima e concomitantemente sem expor o indivíduo a riscos e desvios inseguros, que possam vir a comprometer ou prejudicar o espaço de terceiros envolvidos no cenário de convívio harmonioso.

5. AGRADECIMENTOS

Com intuito de disseminar o conhecimento adquirido ao longo da experiência em áreas de manutenção mecânica industrial em indústrias de molduras, celulose e papel, como também em instituições de ensino do curso técnico em Mecânica do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - SENAI e curso de eletromecânica do Instituto Federal do Paraná - IFPR, este trabalho buscou promover o conhecimento de maneira informativa tão quanto tecnológica. A promoção do desenvolvimento desse projeto foi parte coadjuvante como um todo em relação ao envolvimento dos acadêmicos pertencentes ao ambiente, e o colegiado de Engenharia Mecânica da FATEB o meio intermediador da possível participação ao evento.

Também reconhecimento à Faculdade de Telêmaco Borba - FATEB, pela oportunidade de apresentação do referente artigo à comunidade acadêmica local, bem como o incentivo em estimular o interesse aos acadêmicos, e, contudo, a

ocasião de participação dos membros do artigo em debate, sendo para alguns a primeira vez em evento desta natureza.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, L, A, D; MAIA, M. **A Cidade, o Dever Constitucional de Inclusão Social e a Acessibilidade**. Revista de Direito da Cidade, v. 8, n. 1, p. 225-244, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9050: **Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos**. Rio de Janeiro: 2015. BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil, de 5 de outubro de 1988. Brasília, 1988.

BAPTISTA, M. B; BERNARDI, N. **A NBR 9050 e o uso do desenho universal na produção de arquitetura de espaços expositivos na cidade de São Paulo no período de 2004 a 2014: análise de projetos de Paulo Mendes da Rocha**. ENCONTRO NACIONAL DE ERGONOMIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6. (2016).

BRASIL. **Lei nº 10.098, de 19 de dezembro de 2000**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L10098.htm> Acesso em 01 de out de 2018.

BERSELLI, M. (2017). Cena inclusiva: interação entre pessoas com e sem deficiência e o papel do facilitador no processo de criação. Anais ABRACE, 18(1). (2017). Disponível em <<http://www.publonline.iar.unicamp.br/index.php/abrace/article/view/975>>, acessado em 05 de out. de 2018.

CARPES JR, W.P. **Introdução ao Projeto de Produtos**. Ed. Bookman, 2014, 229 pg.

DE ARAGÃO, A. M; BIANCHINI, I.M.E; DE MELO, J. N; DE OLIVEIRA JÚNIOR, A. M; RUSSO, S. L; DOS SANTOS, J,A,B. **O impulso da economia criativa no desenvolvimento regional no México**. Revista GEINTEC. São Cristóvão/SE. Vol.7/n.1/jan/fev/mar. p.3634-3645. 2017.

DE LA TORRE, S; VIOLANT, V. **Creatividad Aplicada Prácticas de Estimulación y Evaluación**. 2003. Barcelona: Producciones y Publicaciones Universitaria. S. A.

FRACAROLLI, R. L; CESTARI, W; MARTINS, C. H; MEDEIROS FILHO, D. A. **A precariedade das condições de acessibilidade oferecidas por uma Universidade Estadual**. Revista Dialogos, 20(1), 19-28.2017

FIGUEIREDO, P. N. **Apresentação 4: Uma Contribuição para a Estratégia de Desenvolvimento Nacional: Pesquisa Aplicada sobre Acumulação de Capacidades Tecnológicas e Inovação para o Fortalecimento da Competitividade Industrial no Brasil**. I Colóquio de Pesquisa Aplicada da FGV.2015.

LIMA, Luiz H. **Acessibilidade para pessoas portadoras de deficiências: requisito da legalidade, legitimidade e economicidade das edificações públicas. 2000.**

Disponível em: <file:///C:/Users/jxoli/Downloads/293-Texto%20do%20artigo-597-1-10-20150924.PDF>. Acesso em 01 out. de 2018.

NORTON, Robert L. **Projeto de Máquinas**, 1. Ed Bookman, 4ª Edição.2013.

OSTROWER, Fayga. **Criatividade e processos de criação**. Petrópolis: Vozes, 1999. Disponível em:

<<http://www.publionline.iar.unicamp.br/index.php/abrace/article/view/975>>. Acesso em 01 de out. de 2018.

PINHEIRO, L. O. R; MACEDO, L. B; DIAS, C. M. C. C. **Projeto todos parapraia e o ganho social para a fisioterapia**. Cadernos de educação, saúde e fisioterapia, 3(6). 2016.

ROZENFELD, H; FORCELLINI, F,A. **Gestão de desenvolvimento de produtos: Uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Editora Saraiva, 2006.

SANTOS, D.; SILVA, J. F.; RODRIGUES, R.; et al. **Desenvolvimento de triciclo para cadeirante**. 2016. 26 f. Trabalho de Conclusão de Curso Técnico em Eletromecânica - Instituto Federal do Paraná, Telêmaco Borba, Paraná, 2016.

SANTOS, R. S; ZOBOLI, F; RODRIGUES, C; FELISBERTO, S. B. **Acessibilidade de Cadeirantes em um Equipamento Específico de Lazer: O Estádio de Futebol Batistão na Cidade de Aracaju/SE**. LICERE-Revista do Programa de Pós-graduação Interdisciplinar em Estudos do Lazer, 20(3), 289-312. (2017).

SHINGLEY, Joseph E. **Projeto de engenharia mecânica**. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

STEINEMANN, C. F. **The Vocational Integration of the Handicapped**, In, EASE - Edition nº8 - pp.6 - 13. Vários (1994). Necessidades Educativas Especiais

STORY, M. F. **Principles of Universal Design** in PREISER, W. F. E.; OSTROFF, E (ed). Universal Design Handbook. New York: Mc-Graw-Hill, 2001.

SZABO, M. S; DE LURDES FERRONATO, M; DE SOUZA SILVA, S; DE SOUZA ALVES, V. K. C. **Acessibilidade na arborização urbana na região central comercial de Pato Branco-PR**. Revista Técnico-Científica, 5(6). 2017.

UTILIZAÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA DO AR QUENTE DESPREZADO EM INFRAVERMELHOS EM CAPOTAS DE AR



Área de Concentração: Engenharias e Segurança

Grupo de Trabalho: Equipamentos e processos térmicos

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo geral, analisar o desperdício de energia térmica proveniente do sistema de secagem por infravermelho. Utilizando essa energia gerada, com o mínimo de perdas, no processo de capotas de ar quente, o qual possui um queimador instalado dentro de uma tubulação de 40 polegadas. Esse ar é conduzido para ser utilizado na secagem da tinta aplicada no papel. O potencial de energia que é desperdiçada pelo sistema de secagem por infravermelho, será analisado em todas as suas propriedades térmicas e dinâmicas, bem como a forma com que será direcionado para uso. Como se trata de energia térmica, toda tubulação deverá ser adiabática, para evitar ao máximo a perda externa da energia que será transferida, o que poderá comprometer o reaproveitamento. O ar quente por convecção, é succionado por exaustores do sistema de secagem por infravermelho, sendo conduzido para o sistema de secagem por ar quente, e direcionado no sentido do papel, que seca a tinta aplicada na folha de papel. Para isso é necessário que no momento do início da operação do sistema, o mesmo obedeça a uma sequencia lógica para o pleno funcionamento. Como se trata de dois sistemas distintos, os mesmos terão que estar em sintonia. O sistema de secagem por ar quente, onde o ar é aquecido por chama, logo alcance seu ponto de controle que para a secagem da tinta aplicada na folha de papel fica em torno de 300°C, o sistema de reaproveitamento deverá assumir o controle da temperatura, que passa a ser utilizado, momento esse que o queimador da capota de ar quente é desligado. Através desse estudo do reaproveitamento da energia térmica, entender como será possível utilizar, sem desperdiçar a energia térmica para atmosfera, a qual tem um grande potencial de secagem da tinta aplicada.

Palavras-chave: Infravermelho, Reaproveitamento, Convecção

ABSTRACT

The present work has the general objective of analyzing the waste of thermal energy from the infrared drying system. Using this generated energy, with minimum losses, in the process of hot air hoods, which has a burner installed inside a 40-inch pipe. This air is conducted to be used in drying the paint applied to the paper. The energy potential that is wasted by the infrared drying system will be analyzed in all its thermal and dynamic properties, as well as the way in which it will be directed to use. Since it is thermal energy, all piping must be adiabatic, in order to avoid as far as possible the external loss of energy that will be transferred, which could compromise reuse. Convection hot air is sucked in by exhaust fans from the infrared drying system and is directed to the hot air drying system and directed towards the paper,

which dries the paint applied to the sheet of paper. For this it is necessary that at the moment of the beginning of the operation of the system, it obey to a logical sequence for the full operation. Since they are two different systems, they must be in tune. The hot air drying system, where the air is heated by flame, soon reaches its control point that for the drying of the ink applied in the sheet of paper is around 300°C, the system of reuse must take control of the temperature, which is then used, when the hot air burner is switched off. Through this study of the reuse of thermal energy, understand how it will be possible to use, without wasting the thermal energy to atmosphere, which has a great potential of drying the applied.

Key-words: Infrared, Reuse, Convection.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Keey (1978), o consumo de energia na secagem varia de um valor baixo, de menos de 5% para as indústrias de processo químico até 35% para as operações de fabricação de papel. Nos EUA, por exemplo, os gastos de capital para secadores são estimados em apenas US \$ 800 milhões por ano. Assim, os principais custos para os secadores estão em sua operação, e não em seus custos iniciais de investimento. A secagem de várias matérias-primas é necessária para uma ou várias das seguintes razões: necessidade de lidar com sólidos de fluxo livre, conservação e armazenamento, redução no custo de transporte, alcançar a qualidade pretendida dos produtos, etc. Em muitos processos, a secagem imprópria, pode levar a danos irreversíveis da qualidade do produto e, portanto, a um produto não vendável.

Antes de prosseguir para os princípios básicos, é útil observar as seguintes características exclusivas de secagem, que a tornam uma área fascinante e desafiante para a P & D (planejamento e desenvolvimento): (BRUIN, 1998)

- Tamanho do produto pode variar de microns até dezenas de centímetros (em espessura ou profundidade);
- A porosidade do produto, pode variar de 0 a 99,9%;
- A secagem variam de 0,25 seg (secagem de papel de tissue) a cinco meses (para certas espécies de madeira dura) ;
- As capacidades de produção podem variar de 0,10 kg / h a 100 t / h;
- A velocidade do produto variam entre zero (estacionário) a 2000 m / s (papel tissue);
- As temperaturas de secagem variam de abaixo do ponto triplo até acima do ponto crítico do líquido;
- A pressão de operação pode variar de fração de milibar a 25 atmosferas;
- O calor pode ser transferido continuamente intermitentemente por convecção, condução, radiação ou campos eletromagnéticos.

É evidente que não é possível um procedimento de projeto único que possa ser aplicado a todas ou mesmo a várias variantes do secador. Portanto, é essencial reverter aos fundamentos da transferência de calor, massa e momento, juntamente com o conhecimento das propriedades do material (qualidade) ao tentar projetar um secador ou analisar um secador existente. Matematicamente falando, todos os processos envolvidos, mesmo no secador mais simples, são altamente não-lineares e, portanto, o aumento de escala dos secadores é geralmente muito difícil.

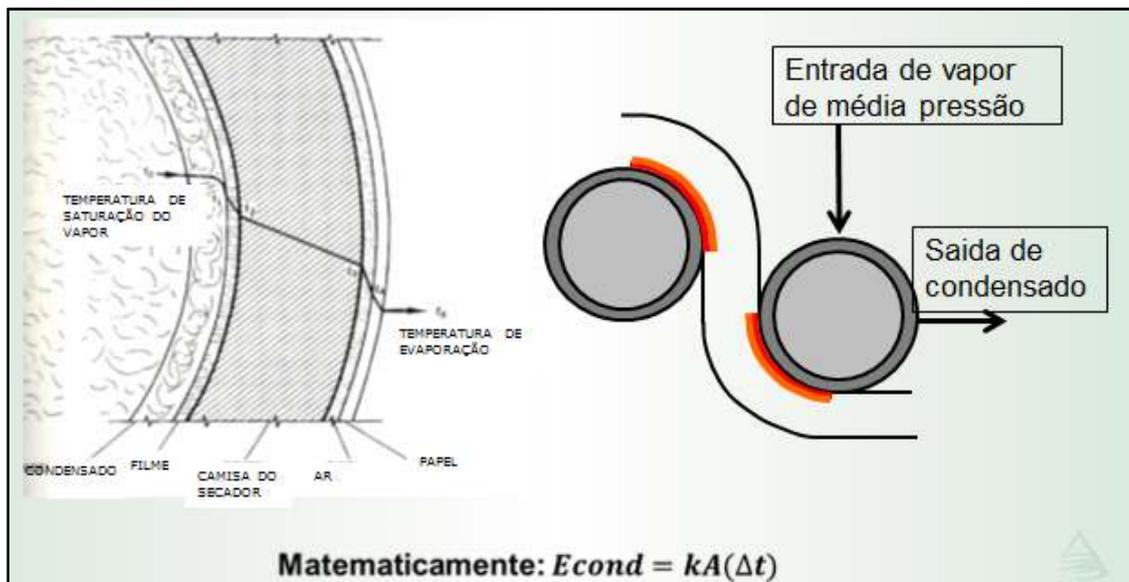
A experimentação em balanças de laboratório e piloto, juntamente com experiência de campo e *know-how*, é essencial para o desenvolvimento de uma nova aplicação de secador. Os vendedores de secadores são necessariamente especializados e normalmente oferecem apenas uma pequena variedade de

equipamentos de secagem. O comprador deve, portanto, estar razoavelmente familiarizado com o conhecimento básico da ampla variedade de secadores e ser capaz de apresentar uma seleção preliminar informal antes de ir aos fornecedores com notáveis exceções. Em geral, vários secadores diferentes podem ser capazes de lidar com uma determinada aplicação. (FORTES, 1980)

A secagem é uma operação complexa envolvendo transferência transiente de calor e massa, juntamente com vários processos de taxa, com transformações físicas ou químicas, que, por sua vez, pode causar alterações na qualidade do produto, bem como os mecanismos de transferência de calor e massa. As mudanças físicas que podem ocorrer incluem: encolhimento, sopro, cristalização, transições de vidro. Em alguns casos, podem ocorrer reações químicas ou bioquímicas desejáveis ou indesejáveis, levando a mudanças na cor, textura, odor ou outras propriedades do produto sólido. No fabrico de catalisadores, por exemplo, as condições de secagem podem originar diferenças significativas na atividade do catalisador, alterando a área superficial interna. (MUJUMDAR, 1995).

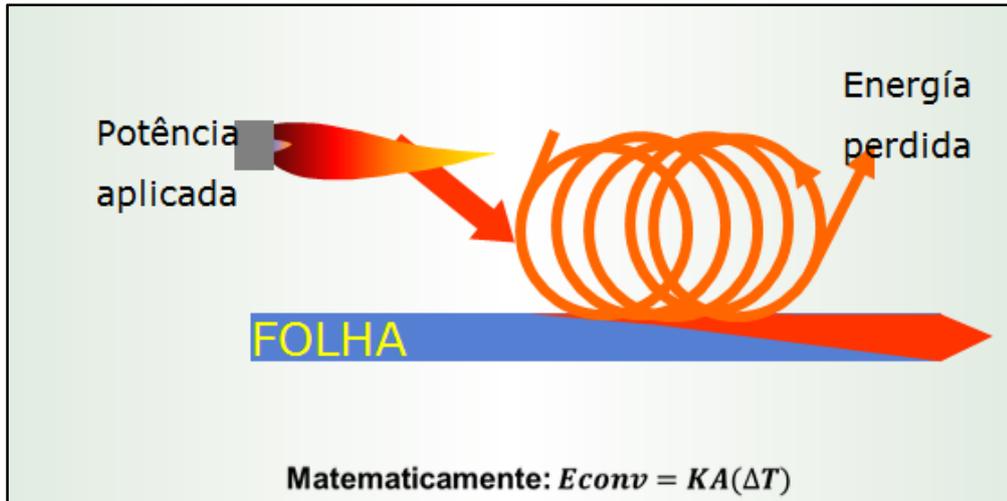
Segundo Key (1978), a secagem ocorre ao efetuar a vaporização do líquido fornecendo calor à matéria-prima úmida. Como observado anteriormente, o calor pode ser fornecido por convecção (secadores diretos) conforme figura 1, por condução (contato ou secadores indiretos) conforme figura 2, radiação ou volumetricamente, colocando o material úmido em um campo eletromagnético de micro-ondas ou radiofrequência, conforme figura 3. Mais de 85% dos secadores industriais são do tipo convectivo com ar quente ou gases de combustão direta como meio de secagem. Mais de 99% das aplicações envolvem a remoção de água. A tabela 1 mostra as comparações na eficiência entre os modos de secagem.

Figura 1: Forma de secagem com cilindro secador: CONDUÇÃO



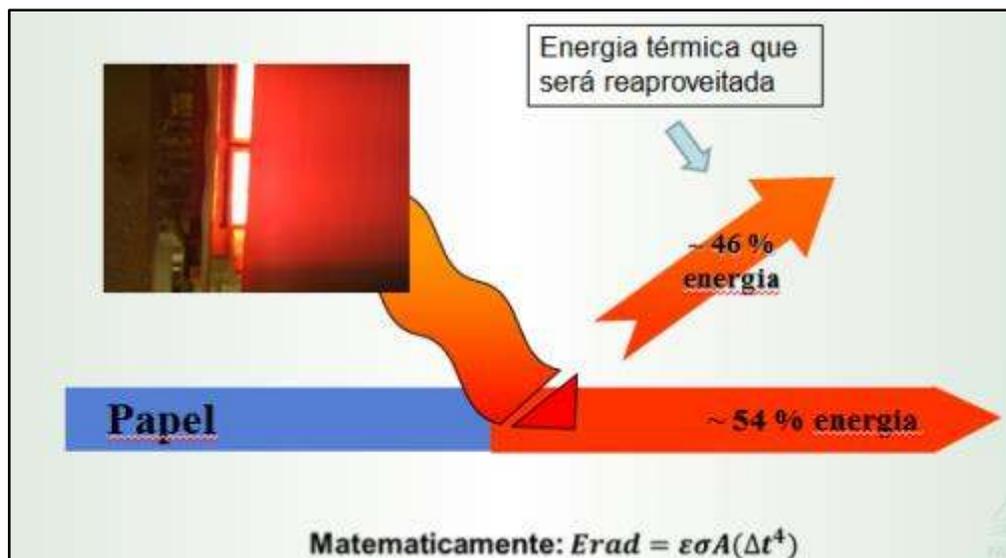
Fonte: Solaronics , 2018

Figura 2: Forma de secagem com capotas de ar quente: CONDUÇÃO



Fonte: Solaronics, 2018

Figura 3: Formas de secagem por infravermelho: RADIAÇÃO



Fonte: Solaronics, 2018

1.1 ESCOAMENTO INTERNO EM TUBULAÇÃO

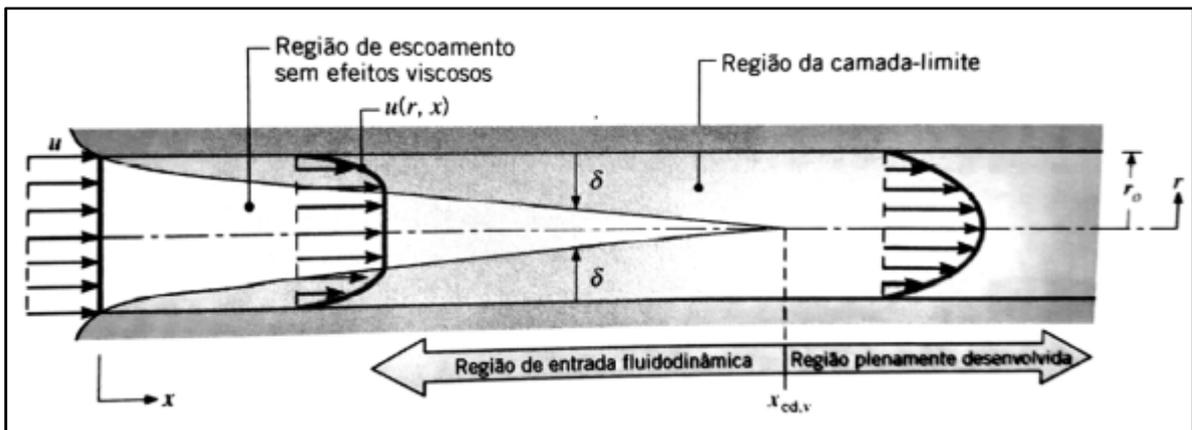
Escoamento interno em tubulações é aquele que no qual o fluido encontra-se confinado por uma superfície. Dessa forma a camada-limite não é capaz de desenvolver sem a finalmente ter este desenvolvimento restringido. A geometria que se forma dentro do espaço confinado é conveniente é conveniente para o aquecimento e resfriamento do fluido. (INCROPERA *et. al.*, 2017)

1.2 CONSIDERAÇÕES FLUIDODINÂMICAS

Considerando o escoamento laminar dentro de um tubo circular de raio r_0 , figura 12, e o fluido entra no tubo com uma velocidade uniforme. O mesmo entra em contato com a superfície, onde os efeitos viscosos se tornam importantes e uma camada limite se desenvolve com o aumento de x . O desenvolvimento ocorre à custa do encolhimento da região de escoamento não viscoso e termina com a

fusão da camada-limite no eixo central do tubo. Após essa fusão, os efeitos viscosos se estendem ao longo de toda a seção transversal do tubo e o perfil de velocidades não mais se altera com o aumento de x . Nesse ponto o escoamento está plenamente desenvolvido e a distância entre a entrada do tubo e o ponto onde essa condição é atingida é conhecida por comprimento de entrada fluidodinâmica $x_{cd,v}$. Como mostrado na figura 4 o escoamento laminar, o perfil de velocidade é uma parabólica, e no turbulento é mais achatado. (INCROPERA, *et al.*, 2017)

Figura 4: Desenvolvimento de camada-limite fluidodinâmica laminar em um tubo circular



Fonte: INCROPERA, *et al.*, 2017

1.3 VELOCIDADE MÉDIA

Como numa tubulação a velocidade varia e não há uma corrente bem definida, usa-se trabalhar com a velocidade média u_m . Essa velocidade é definida quando multiplicada pela massa específica do fluido ρ e pela área da seção transversal do tubo A_{tr} , obtém-se a massa específica do escoamento através do tubo. Assim,

$$\dot{m} = \rho u_m A_{tr} \quad (1)$$

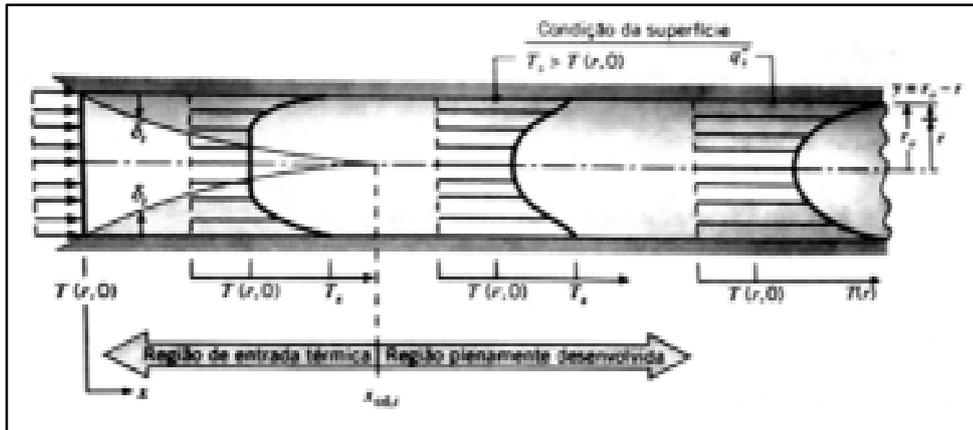
1.4 CONSIDERAÇÕES TÉRMICAS

Quando um fluido entra numa tubo mostrado na figura 5 a uma temperatura uniforme $T(r, 0)$, que é menor que a temperatura de superfície, ocorre transferência de calor por convecção e uma camada-limite térmica começa a se desenvolver. Isso ocorre quando de uma imposição de uma temperatura na superfície seja uniforme T_s , ou de um fluxo térmico uniforme q''_s , atingem uma condição térmica plenamente desenvolvida. No entanto, em ambas as condições de superfície existe uma diferença de temperatura do fluido e sua temperatura na entrada variando com o aumento de x . (INCROPERA, *et al.*, 2017)

1.5 TEMPERATURA MÉDIA

Da mesma forma que ocorre com a velocidade em escoamento de fluido em tubulações, utilizar a velocidade média, para temperatura como não se tem uma temperatura fixa, utiliza-se também a temperatura média T_m .

Figura 5: Desenvolvimento de camada-limite térmica em um tubo circular aquecido



Fonte: INCROPERA *et. al.*, 2017

A temperatura média é obtida a partir da equação 2, desde que a temperatura seja uniforme na entrada e na saída. Como isso não é possível devido a transferência de calor por convecção que ocorre. Define-se então a temperatura média de modo que o termo $\dot{m} c_p T_m$ seja igual à taxa real de advecção de energia térmica integrada na seção transversal. (Çengel, Ghajar, 2012)

$$q = \dot{m} c_p (T_{sai} - T_{ent}) \quad (2)$$

Essa taxa real de advecção pode ser obtida pela integração do produto entre o fluxo de massa (ρu) e a energia interna (ou entalpia) por unidade de massa, $c_p T$, em toda seção transversal do escoamento a partir de:

$$\dot{m} c_p T_m = \int_{A_{tr}} \rho u c_p T dA_{tr} \quad (3)$$

ou

$$T_m = \frac{\int_{A_{tr}} \rho u c_p T dA_{tr}}{\dot{m} c_p} \quad (4)$$

Para escoamento em tubo circular com ρ e c_p constantes, tem-se a equação

$$T_m = \frac{2}{u_{mr0}^2} \int_0^{r_0} u T r dr \quad (5)$$

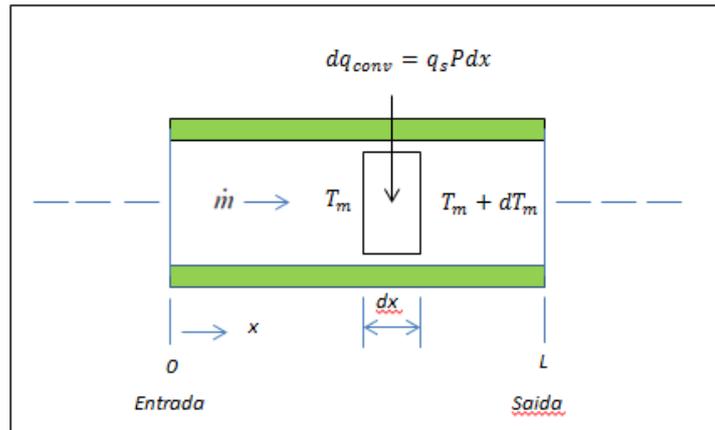
Importante observar que quando T_m é multiplicado pela vazão mássica e pelo calor específico, fornece a taxa de energia térmica que é carregada a medida que o fluido escoar pela tubulação.

1.6 BALANÇO DE ENERGIA

Como o fluido é completamente confinado dentro da tubulação, um balanço de energia pode ser utilizado para determinar como uma temperatura média varia ao longo do tubo. Pode se assim determinar como a transferência de calor por convecção está relacionada a temperatura de entrada e de saída do tubo.

O fluido mostrado na figura 6, escoar a uma vazão mássica constante de \dot{m} e transferência de calor por convecção ocorre na superfície interna.

Figura 6: Volume de controle para escoamento interno em um tubo



Fonte: INCROPERA, *et al.*, 2017

Segundo INCROPERA, *et al.* (2017), é conveniente desprezar a transferência de calor por condução na direção axial de modo que o termo de transferência de calor inclui somente q_{conv} por consequência a equação pode ser escrita na forma

$$q_{conv} = \dot{m} c_p (T_{m,sai} - T_{m,ent}) \quad (6)$$

Esse balanço de energia global simples representa três importantes variáveis térmicas, sendo uma expressão geral que se aplica independente da natureza das condições térmicas na superfície e no escoamento do tubo. Como a temperatura média é definida de maneira que $\dot{m} c_p T_m$ represente a taxa de advecção de energia térmica, integrada na seção transversal obtemos

$$dq_{conv} = \dot{m} c_p [(T_m + dT_m) - T_m] \quad (7)$$

ou

$$dq_{conv} = \dot{m} c_p dT_m \quad (8)$$

A equação 20 pode ser moldada para representar a taxa de transferência de calor por convecção para $dq_{conv} = q''_s P dx$, sendo P , o perímetro da superfície ($P = \pi D$ para um tubo circular), substituindo a equação tem

$$\frac{dT_m}{dx} = \frac{q''_s P}{\dot{m} c_p} = \frac{P}{\dot{m} c_p} h (T_s - T_m) \quad (9)$$

Essa expressão é útil a partir do qual a variação axial de T_m pode ser determinada, se $T_s > T_m$ o calor é transferido para o fluido o T_m aumenta com x e se $T_s < T_m$, o calor é transferido para superfície e T_m , diminui com x .

1.7 FLUXO TÉRMICO NA SUPERFÍCIE CONSTANTE

Para um fluxo térmico na superfície constante, precisa determinar a taxa de transferência total q_{conv} como q''_s é independente do comprimento do tubo, tem-se que

$$q_{conv} = q''_s (P \cdot L) \quad (10)$$

Essa expressão pode ser usada para determinar a temperatura do fluido $T_{m,sai} - T_{m,ent}$. Para q''_s constante, a expressão central da equação 10, é uma constante independente de x , portanto

$$\frac{dT_m}{dx} = \frac{q''_s P}{\dot{m} c_p} \neq f(x) \quad (11)$$

Integrando desde $x = 0$, tem-se que

$$T_m(x) = T_{m,ent} + \frac{q''_s P}{\dot{m} c_p} x \quad q''_s = \text{constante} \quad (12)$$

2. METODOLOGIA

A base da coleta de dados para elaboração do trabalho será através de medições de temperatura com instrumentos padrões, em pontos estratégicos do sistema de secagem. A utilização de conceitos de transferência de calor e massa, também será utilizada para relacionar os dados coletados no campo com os dados teóricos. Portanto, optou-se por uma pesquisa bibliográfica juntamente com a pesquisa de dados em campo. A referência bibliográfica facilita a pesquisa, pois temos elementos de estudos anteriores que ajudam a corroborar para a tese proposta, e a pesquisa de campo enriquece o trabalho, pois fornece dados exatos em relação à determinado estudo. A pesquisa de campo torna-se fundamental durante o desenvolvimento do trabalho para a comprovação de dados pesquisados nas referências utilizadas. Utilizou-se para a pesquisa de campo, um medidor de temperatura marca Flir modelo 15TG165 como mostra a figura 7, um medidor de temperatura marca Minipa modelo ET2517A, como mostra a figura 8 e um medidor de pressão e velocidade marca Testo modelo 510, como mostra a figura 9. A medição da temperatura e da pressão, é na tubulação de saída de ar quente do infravermelho, situado na parte traseira do equipamento, onde será verificada a temperatura e a pressão do ar em vários pontos das tubulações do infravermelho e em pontos estratégicos de temperatura nas capotas, logo a frente do queimador, o qual fica dentro da tubulação. Essas medições são possíveis, deixando o sistema preparado para realizá-las. Será necessário fazer uma tomada de pressão com diâmetro de 6mm para introduzir o medidor de pressão e a temperatura será medida na superfície da tubulação com medidor infravermelho portátil, ambos citados acima.

Com os valores registrados será feito os cálculos de velocidade do ar, e com auxílio da tabela 1, coletar os valores de densidade específica referente a temperatura medida e calor específico, para se obter a vazão mássica de deslocamento do ar. Valor esse importante para calcular o quanto é a taxa de transferência de calor do sistema infravermelho para as capotas.

Logo então, após coletar os dados e realizar os cálculos para o infravermelho, será também necessário, coletar os dados do processo na capota para comparação de valores de taxas de transferência de calor. Essa comparação será necessária para a viabilidade ou não do projeto. Com os valores será possível determinar se as taxas são equivalentes e quanto será reaproveitado dessas taxas, de um equipamento para outro.

Figura 7: Termômetro infravermelho



Fonte: autor, 2018

Figura 8: Medidor de temperatura



Fonte: autor, 2018

Figura 9: Medidor de pressão e velocidade



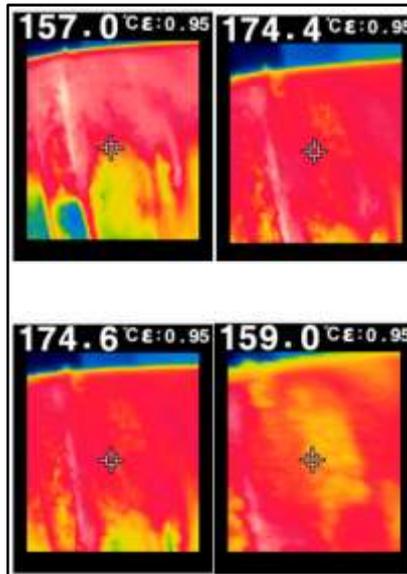
Fonte: autor, 2018

3. DESENVOLVIMENTO

Com o sistema de infravermelho em funcionamento e o ventilador de exaustão ligado, é possível medir a temperatura do ar de exaustão que será reaproveitada. A coleta de dados da temperatura que sai do sistema de exaustão pode ser coletada com medidor portátil marca Flir.

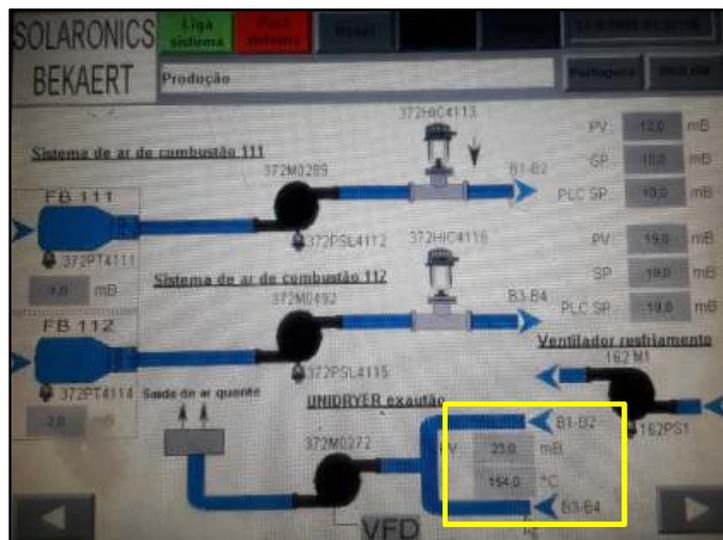
Em um primeiro momento, optou-se por medir a temperatura, logo após o ar quente, sair do sistema de exaustão do infravermelho. Isso foi possível preparando uma tomada de temperatura na própria tubulação. Foi realizado quatro leituras da temperatura com valores de 157°C, 174.4°C, 174.6°C e 159°C, conforme figura 10, obtendo a média aritmética de 166.25°C. Após observar as instalações verificou-se que o sistema tem um ponto de medição do ar quente no próprio equipamento, conforme figura 11.

Figura 10: Temperatura de ar quente na saída do infravermelho



Fonte: autor, 2018

Figura 11: Temperatura do ar de exaustão do infravermelho



Fonte: autor, 2018

Conforme ilustrado na figura 11, observa-se uma pressão do ar quente de 22mBar (milibar) e uma temperatura de 164°C, valor próximo a medição realizada com o medidor portátil na tubulação, quando o ar já se encontra fora do sistema. Com o valor de temperatura conhecido, foi realizado também a medição da

velocidade do ar dentro da tubulação, para se obter os cálculos da taxa de transferência de calor do sistema de infra vermelho para o sistema de capota de ar quente. Para realizar a medição da velocidade do ar, foi necessário confeccionar uma tomada de pressão na tubulação. A tomada de pressão tem um diâmetro de 6mm e o medidor usado é marca Testo modelo 510 com tubo pitot. Com o valor de velocidade de pressão do ar na tubulação é possível calcular a velocidade com:

3.1 DEMONSTRAÇÕES DE RESULTADO OBTIDOS

- **Caso 1**

$$V = 4004,4\sqrt{hv} \quad (13)$$

onde: V = velocidade do ar em pés por minuto;

hv = pressão da velocidade do ar em polegadas de coluna de água;

Tabela 1: Propriedades termofísicas de gases a pressão atmosférica

T(K)	ρ (Kg/m ³)	C_p (KJ/(Kg.K))
250	1,3947	1,006
300	1,1614	1,007
350	0,9950	1,009
400	0,8711	1,014
450	0,7740	1,021
500	0,6964	1,030
550	0,6329	1,040

Fonte: INCROPERA, 2017

Com o valor de 166,25°C que é a média aritmética do valor medido com o medidor portátil, conforme figura 10, e convertendo para Kelvin o novo valor (somando a 273,15K) é 439.4K. A tabela 1 acima não tem o valor direto da massa específica e nem do calor específico. Para obter esses valores referente a unidade medida, necessita fazer uma interpolação desses valores. Obtendo então os valores:

- ρ (Kg/m³) = 0,7945

$$\frac{x - 0,7740}{0,8711 - 0,7740} = \frac{439,4 - 450}{400 - 450}$$

$$\frac{x - 0,7740}{0,0971} = \frac{-10,6}{-50}$$

$$x = 0,7945 \text{ Kg/m}^3 \quad (14)$$

- C_p (KJ/(Kg.K)) = $\frac{1,019KJ}{KG} \cdot K$

$$\frac{x - 1,021}{1,014 - 1,021} = \frac{439,4 - 450}{400 - 450}$$
$$\frac{x - 1,021}{-0,007} = \frac{-10,6}{-50}$$
$$x = \frac{1,019KJ}{KG} \cdot K \quad (15)$$

Com a equação (13) e o valor da velocidade da pressão medida pelo portátil igual a $7,97 \text{ inH}_2\text{O}$, conforme figura 9 pode-se calcular o valor da velocidade do ar em pés por minuto.

Figura 12: Pressão de ar quente saída do infravermelho



Fonte: autor, 2018

Utilizando a equação (13) obtém-se o valor da velocidade em pés/min.

$$V = 4004,4\sqrt{hv}$$
$$V = 4004,4\sqrt{7,97}$$
$$V = 4004,4 * 2,82311884$$
$$V = 11304,897093 \text{ ft/min}$$

Convertendo para o Sistema Internacional, temos:

$$1\text{pé}/\text{min} = 0,00508 \text{ m/s}$$
$$1\text{pé}^3/\text{min} = 1.699011\text{m}^3/\text{h}$$

$$V = 57,42 \text{ m/s}$$

- **Caso 2**

Utilizando um medidor de temperatura, marca MINIPA modelo ET2517A obteve-se uma temperatura de 203°C , conforme figura 13, e 476K . A densidade

igual a $0,733648\text{Kg/m}^3$, e calor específico em $1,025\text{KJ/Kg.K}$, com a aplicação da equação (2) e (3) respectivamente da tabela 1, valores importante para se calcular a taxa de transferência de calor.

Figura 13: Temperatura saída do infravermelho



Fonte: autor, 2018

- **Caso 3**

Como terceira opção foi feito a medição com portátil direto na tubulação, para isso foi necessário ajustar no medidor a densidade do ar calculado com a temperatura de 203°C ou 476K . A valor utilizado é mostrado na figura 14.

Figura 14: Medidor de pressão e temperatura



Fonte: autor, 2018

A medição direta apos o ajuste da densidade do ar, com medidor portátil é mostrado na figura 15, em $69,8\text{ m/s}$. Valor esse que será utilizado nos cálculos para determinar a taxa de transferência de massa do infravermelho para a capota de ar quente.

Figura 15: Velocidade do ar na saída do infravermelho



Fonte : autor, 2018

Com o valor da velocidade do ar e a área da tubulação por onde esse ar escoou, calcula-se a vazão volumétrica, como segue:

- Dados: Diâmetro da tubulação = 509,55mm
- $V = 69,8 \text{ m/s}$ (velocidade)
- $T = 203^\circ\text{C} = 476\text{K}$ (temperatura)
- $\rho = 0,733648\text{Kg/m}^3$ (densidade específica)
- $C_p = 1,025\text{KJ/Kg.K}$ (calor específico)
- $A = 203.818,344 \text{ mm}^2 = 0,203818344\text{m}^2$ (Area)

$$Q = V * A \quad (16)$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (17)$$

$$Q = \frac{69,8\text{m}}{\text{s}} * 0,203818344\text{m}^2$$

$$Q = \frac{14,2265\text{m}^3}{\text{s}} * \frac{0,733648\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$Q = \frac{10,43 \text{ Kg}}{\text{s}}$$

O valor representado acima igual a $Q = 10,43\text{Kg/s}$ será o valor utilizado para comparação com os valores teóricos da vazão que é utilizado na capota de ar quente, conforme segue abaixo:

Valores teóricos obtidos na plaqueta do ventilador de ar para capota, conforme mostrado na tabela 2, o valor da vazão volumétrica é $570\text{m}^3/\text{min}$.

Tabela 2: Dados teórico do ventilador da capota

VENTILADOR BERNAUER	
Ventilador número	23,488
Tipo	YBR-342/800
Volume	570m ³ /min
Pressão	296mmCA

Fonte: autor, 2018

Utilizando a tabela 1, e o valor da temperatura da capota igual a 285°C, conforme mostra a figura 16, obtém o valor da densidade $\rho = 1,23139 \text{ Kg/m}^3$ e seu calor específico $c_p = 1,0067 \text{ Kg/m}^3$.

O valor da vazão volumétrica é 570m³/min que é igual a 9,5m³/s.

$$Q = \frac{9,5\text{m}^3}{\text{s}} * \frac{1,23139\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

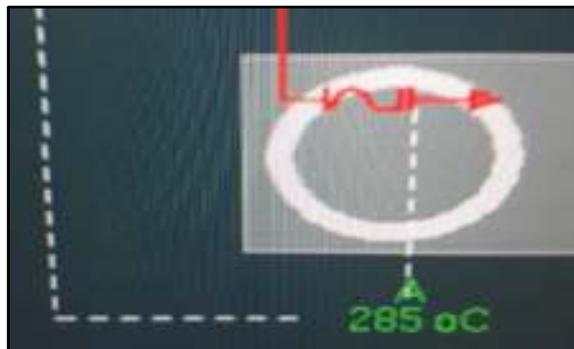
$$Q = \frac{11,70 \text{ Kg}}{\text{s}}$$

Comparação dos valores:

Vazão de ar do infravermelho igual a: **$Q = 10,43 \text{ Kg/s}$** .

Vazão de ar da capota igual a: **$Q = 11,70 \text{ Kg/s}$** .

Figura 16: Temperatura da capota de ar quente

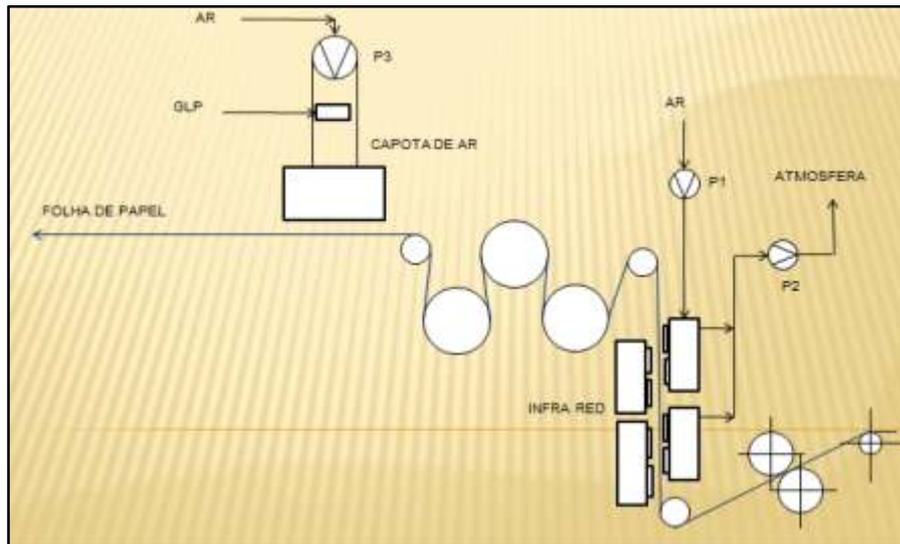


Fonte: autor, 2018

3.2 FLUXOGRAMA DO PROCESSO

A figura 17 abaixo, mostra os dois sistemas independentes, o infravermelho e a capota de ar. O infravermelho com o ventilador de ar de insuflamento P01 e o ventilador de ar de exaustão P2. A capota com seu ventilador P3 de ar de combustão.

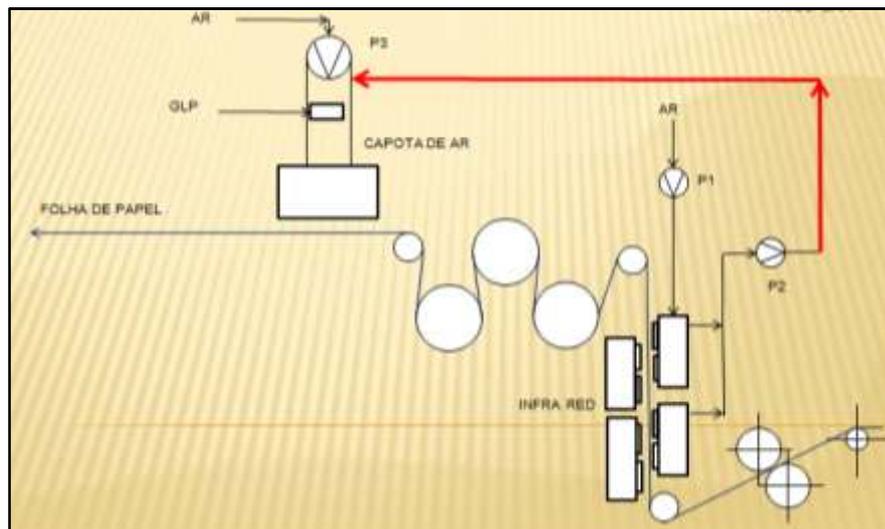
Figura 17: Fluxograma do processo



Fonte: autor, 2018

Na figura 18, o ar de exaustão do infravermelho é direcionado para aproveitamento na capota.

Figura 18: Fluxograma do processo com reaproveitamento de ar



Fonte: autor, 2018

3.3 COMPARAÇÃO DOS VALORES DE TEMPERATURA ENTRE OS PROCESSOS

3.3.1 TAXA DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR NA CAPOTA

A figura 19, tem-se os valores da temperatura do ar na entrada da capota igual a 42°C, e no ponto de secagem da tinta no papel, valor de 285°C, mostrado na figura 20.

Figura 19: Temperatura do ar na entrada da capota e na folha de papel



Fonte: autor, 2018

Figura 20: Temperatura do ar na folha de papel



Fonte: autor, 2018

O valor da taxa de transferência de calor é mostrado na cálculo abaixo:
 Dados: temperatura de 285°C (+273) = 558K; temperatura de 42°C (+273) = 315K, calor específico para temperatura de 558K = 1,0067KJ/Kg.K

$$q = \dot{m} \cdot c_p (\Delta T)$$

$$q = \frac{11,70Kg}{s} \cdot \frac{1,0067KJ}{Kg} \cdot K(558K - 315K)$$

$$q = 2,862 GW$$

3.3.2 TAXA DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR NO INFRAVERMELHO

A figura 13, mostra o valor de 203°C (+273) = 476K, e a figura 21, mostra o valor da temperatura de 285°C (+273) = 558K do ar na folha de papel e o valor do calor específico é 1,0067KJ/Kg.K.

O valor da taxa de transferência de calor é mostrado na cálculo abaixo:

$$q = \dot{m} \cdot c_p (\Delta T)$$

$$q = \frac{10,43Kg}{s} \cdot \frac{1,0067KJ}{Kg} \cdot K(558K - 476K)$$

$$q = 860,990MW$$

4. CONCLUSÃO

É feita uma revisão teórica para fornecer uma visão geral concisa dos princípios fundamentais e da terminologia usada nos processos de secagem. Modelos avançados e procedimentos de cálculo para secagem e secadores de vários tipos podem ser encontrados em diversas literaturas. Deve-se notar que os modelos e métodos de estimativas aqui apresentados são necessariamente simplistas e deve-se ter cautela ao aplicá-los na prática. Quase sem exceção, o projeto de utilização de ar de infravermelho, para utilização em capotas de ar, e o aumento de escala da maioria dos secadores devem ser precedidos de experimentos adequados em laboratório e / ou em escala piloto. Embora nenhuma menção seja feita aqui sobre considerações de qualidade final do produto que utiliza a energia térmica do ar, é importante reconhecer que a secagem envolve processos de transferência de calor e massa, mas também ciência de materiais. Secar afeta a qualidade do produto de maneira decisiva e, portanto, deve ser uma parte essencial de qualquer cálculo e especificação correta de um equipamento para secagem de papel com ar quente.

REFERÊNCIAS

KEEY, R.B. **Introduction to Industrial Secing Operations**, Pergamon Press, Oxford – 1978.

KEEY, R.B. **Secagem de Materiais Soltos e Particulados**, Hemisfério, Washington – 1992.

BRUIN, S. LUYBEN, K.CH.A.M. **Secagem de Materiais Alimentares: Uma Revisão de Desenvolvimentos Recentes**, pp. 155-216, em A.S. Mujumdar (Ed.) *Advances in Drying*, vol. 1 Hemisfério, Washington – 1980.

FORTES, M., OKOS, M.R. **Teorias de Secagem: Suas Bases e Limitações Aplicadas a Alimentos e Grãos**, pp. 119-154, em A.S. Mujumdar (Ed.) *Advances in Drying*, vol. 1 Hemisfério, Washington – 1980.

MUJUMDAR, A.S., 1997, **Drying Fundamentals**, pp. 7-30, in C.G.J. Baker (Ed.) *Industrial Drying of Foods*, Blackie Academic & Professional, London.

MUJUMDAR, A.S., 1995, **Superheated Steam Drying**, pp. 1071-1086, in A.S. Mujumdar (Ed.) *Handbook of Industrial Drying*, 2nd Edition, Marcel Dekker, New York.

INCROPERA, F.P, *et al.*, – **Fundamentos de transferência de calor e massa** - Cap.8 pag. 330 – 377, 634 – Editora LTC – Rio de Janeiro – 2017.

SOLARONICS, INC.; - **Gas infrared tube manufacturing** – Disponível em: <<http://solaronicsusa.com>>. Acesso em: 23/10/2018.

ANÁLISE COMPARATIVA DE TEMPERATURA EM UM PROTOTIPO DE CÂMARA FRIA COM TELHADO VERDE

Joalison Bento da Silva¹ e Paulo Roberto Campos Alcover Junior²



RESUMO

Pensando na necessidade e no dever de contribuir com o planeta juntamente com o grande gasto realizado com manutenção na área de refrigeração, foi implantado um telhado verde numa câmara fria do tipo externo para realizar cálculos e fazer análises do rendimento dessa ideia. Desse modo, obteve-se uma base de dados com e sem o telhado verde, para comprovarmos a eficiência nesse investimento. O telhado trouxe mais isolamento para a câmara fazendo com que a temperatura seja atingida com mais facilidade pelo compressor. Obtivemos ganhos com rendimento energético. O presente trabalho tem como objetivo contribuir com o desenvolvimento sustentável do ambiente urbano e consequentemente com o bem-estar da sociedade.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Câmara Fria; Telhado Verde.

ABSTRACT

Thinking of the need and the duty to contribute to the planet together with the great expense of maintenance in the refrigeration area, a green roof was implanted in a cold chamber of the external type to perform calculations and make analyzes of the yield of this idea. In this way, we obtained a database with and without the green roof, to prove the efficiency in this investment. The roof has brought more insulation to the chamber making the temperature more easily reached by the compressor. We obtained gains with energy efficiency. The present work aims to contribute to the sustainable development of the urban environment and consequently to the wellbeing of society.

Key words: Sustainability; Cold Chamber; Green Roof.

1. INTRODUÇÃO

A câmara fria, também conhecida como câmara frigorífica é o produto adequado para se armazenar produtos e alimentos perecíveis. Devido à baixa temperatura, diminui-se também as reações químicas e biológicas, desta forma é possível armazenar produtos com alta qualidade por mais tempo.

As câmaras frigoríficas são compartimentos refrigerados, as quais são mantidas as condições termo higrométricas, isto é, de temperatura e de umidade, mais adequado para a conservação alimentos. A manutenção dessas são providas por uma unidade de refrigeração, integrada por sistemas de aquecimento e umidificação. Cada câmara frigorífica deve ser projetada para um determinado fim, cuja carga térmica a ser retirada pelo equipamento frigorífico e o período de tempo necessário desse processo sejam calculados criteriosamente.

¹Acadêmico do curso de Engenharia de Mecânica na FATEB – e-mail <joalisonbsilva@gmail.com>

²Mestre em Engenharia Mecânica, Especialista em Processamento de Energias Renováveis e docente do Colegiado de Engenharia Mecânica na FATEB – e-mail <paulo.alcover@hotmail.com>

Com a urbanização crescente as áreas verdes vão ficando cada vez menores e uma solução para aumentar as áreas verdes é usar as coberturas para plantar gramas, flores, etc [...]. As coberturas verdes reduzem a temperatura da cobertura no verão em mais de 40% reduzindo o consumo de energia [...]. (TOMAZ, 2008, Cap.51, p.3 e p.8)

Novas técnicas e inovações de sustentabilidade vão surgindo a fim de minimizar todos esses impactos, o telhado verde é uma forma de contribuir com a sustentabilidade do ambiente urbano que permite o cultivo de plantas sobre uma laje ou telhado impermeabilizado.

Nesse contexto, têm sido empregados os telhados verdes em várias partes do mundo principalmente com finalidades estéticas de valorização do espaço urbano e para melhoria do conforto ambiental. [...] (ARAÚJO, 2007)

Na área da refrigeração, utiliza-se câmaras frias externas em alguns estabelecimentos, e existe uma dificuldade diária com o controle dessas temperaturas devido ao sol, principalmente em câmaras de produtos congelados onde a temperatura desejável é em torno de -10°C , ocorre então uma quebra frequente nos equipamentos e gera gastos adicionais às empresas.

O projeto de um sistema frigorífico fundamenta-se no cálculo da Carga Térmica, que é definida como o calor total a ser removido do espaço refrigerado para que o produto, a partir da temperatura inicial, atinja a baixa temperatura de interesse. [...] (CAMPOS, 2015)

O presente trabalho traz a proposta de realizar testes comparativos de um protótipo de uma câmara fria com telhado verde para comprovar a sua eficiência.

2. METODOLOGIA

Na construção do protótipo da câmara fria com telhado verde foi utilizado PVC com isolamento EPS (isopor) para a isolação devido a troca de temperatura. Para a montagem do isolamento térmico foram instalados os painéis frigoríficos, o isolamento do piso e vedação da porta e da câmara com silicone. Para a montagem dos equipamentos de refrigeração foi fixado a evaporadora e a condensadora, feito tubulação de ligação dessas unidades (esse processo envolve solda nos tubos de cobre), parte elétrica da unidade condensadora e evaporadora, instalação e ligação do quadro de comando e instalação da parte de iluminação. A parte final da montagem é a carga do fluido refrigerante e a configuração do controlador para programação de trabalho da câmara.

Para a montagem do telhado verde, foi feito a impermeabilização do teto, na sequência a manta permeável protetora para que as raízes das plantas não danifiquem a estrutura nem a camada de substrato. No telhado foi escolhido a grama rasteira devido a sua forma simples de cultivo, pois o intuito é conciliar a diminuição dos gastos com a câmara e a obtenção de melhor rendimento energético.

As Dimensões do protótipo são de 60cm (largura) x 60cm (altura) x 76cm (comprimento), utilizando um PVC de 0,5cm com um isopor de 2cm no meio de cada PVC totalizando 3cm de parede. Abaixo a foto do protótipo.

Figura1 – Protótipo da Câmara Fria



Fonte: adaptado de autor (2018)

3. DESENVOLVIMENTO

Nesse protótipo realizamos uma coleta de dados de temperatura para a realização dos cálculos da carga térmica da câmara fria que mostram a diferença da carga térmica da câmara com o telhado verde e sem o telhado verde. Para obter o controle, utilizamos sensores de temperatura que são ligados no controlador digital. Obtivemos os dados comparativos mostrados na figura 2 de acordo com os cálculos exibidos logo abaixo.

Figura 2 – Análise Comparativa

Sem Telhado Verde				Com Telhado Verde			
1ª Medição		2ª Medição		3ª Medição		4ª Medição	
Temp. Ext. 28.9 °C	Temp. Int. 25.9 °C	Temp. Ext. 24.3 °C	Temp. Int. 22.2 °C	Temp. Ext. 38.0 °C	Temp. Int. 20.0 °C	Temp. Ext. 18.2 °C	Temp. Int. 18.0 °C
On 13:46h	Off 16:00h	On 10:35h	Off 12:43h	On 13:00h	Off 15:30h	On 07:10h	Off 07:42h
2h e 14min para atingir a temperatura de 3°C		2h e 8min para atingir a temperatura de 3°C		2h e 30min para atingir a temperatura de 3°C		32min para atingir a temperatura de 3°C	

Fonte: adaptado de autor

3.1 Cálculo do Dimensionamento Total

$$DT = (\text{carga diária}) + (\text{carga dos produtos}) + (\text{pessoas}) + (\text{iluminação})$$

$$DT = (485,13 \text{ kcal}) + (2,125 \text{ kcal}) + (218 \text{ kcal}) + (3,92 \text{ kcal})$$

$$DT = 709,17 \text{ kcal}/24\text{h}$$

$$DT/20\text{h} = 35,45 \text{ Kcal}/\text{h}$$

$$\text{Fator de segurança } 10\% = 3,5$$

$$\text{Total Final} = 38,95 \text{ Kcal}/\text{h}$$

3.2 Carga Térmica nas 4 Medições Realizadas.

1ª medição sem telhado verde = 39,49 Kcal/h – temperatura de 28,9°C

2ª medição sem telhado verde = 39,26 Kcal/h – temperatura de 24,3°C
1ª medição com telhado verde = 40,04 Kcal/h – temperatura de 38,0°C
2ª medição com telhado verde = 38,95 Kcal/h – temperatura de 18,2°C

3.3 Análise Energética

Cálculo do fluido R134a

Baixa: vapor superaquecido: 20psi

Vazão de 0,05 kg/s

Alta: Sai à 115psi

Considerações: ciclo de refrigeração padrão

Vazão tabelada com compressor

3.4 Capacidade de Refrigeração

$$Ql = m \times (h1 - h4)$$

$$Ql = 0,05 \times (239 - 95,43)$$

$$Ql = 7,178 \text{kw}$$

3.5 Potência De Compressão

$$Wc = m \times (h2 - h1)$$

$$Wc = 0,05 \times (275,32 - 239)$$

$$Wc = 1,816 \text{kw}$$

3.6 Calor Rejeitado

$$Qh = Ql + Wc$$

$$Qh = 7,178 + 1,816$$

$$Qh = 8.994 \text{kw}$$

3.7 Cálculo Do Cop

Cop = (coefficient of performance) “Coeficiente de desempenho”

Indica o nível de eficiência do aparelho e o consumo energético.

$$\text{Cop} = Ql/Wc$$

$$\text{Cop} = 7,15/1,80$$

$$\text{Cop} = 3,972$$

4. CONCLUSÃO

A câmara fria é crucial para a conservação dos alimentos, não só para garantir um alimento saudável nos estabelecimentos quanto para seu transporte em caminhões frigoríficos. Sustentabilidade é o foco e pensando nisso implantamos um telhado verde no exterior da câmara fria para melhorar o seu rendimento e contribuir com o sistema de refrigeração. Com esse projeto temos uma câmara fria sustentável que utiliza a água da chuva como sistema de irrigação em seu telhado verde o qual proporciona uma barreira de temperatura impedindo que o calor externo aqueça a câmara. Foi realizado os testes comparativos de temperaturas de absorção com e sem o telhado verde, obtivemos uma queda significativa que podem nos proporcionar ótimos ganhos em economia de energia e melhor rendimento mecânico nos equipamentos.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, S. R. de. **As Funções Dos Telhados Verdes No Meio Urbano, Na Gestão E No Planejamento De Recursos Hídricos**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, ago. 2007. Disponível em: <<https://ecotelhado.com/wp-content/uploads/2015/03/Funcoes-dos-Telhados-Verdes-no-Meio-Urbano.pdf>>. Acesso em: 05 nov. 2018.

BOFF, Leonardo. **Sustentabilidade: O que é – O que não é**. 5ª Edição 2012.

BORGNAKKE, Claus. **Fundamentos da Termodinâmica**. Tradução da 7ª Edição Americana 2009.

CAMPACCI, Claudio. **Século XIX O Século que Mudou a Humanidade**. p. 247, maio 2008.

CAMPOS, Carolina de. **Módulo Prático Para Estudos De Sistemas De Refrigeração Mecânica Por Compressão**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2015. Disponível em: > http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/4879/1/CM_COEAL_2015_1_01.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2018.

HEINEINE, M. C. A. de S. **Cobertura Verde**. Escola de Engenharia da UFMG, 2018.

MORAN, Michael J., SHAPIRO, Howard N. **Princípios de Termodinâmica para Engenharia**. 7ª Edição 2013

RANGEL, A. C. L., ARANHA, K. C., SILVA, M. C. B. C. **Os telhados verdes nas políticas ambientais como medida indutora para a sustentabilidade**. Artigo Desenvolvimento e Meio Ambiente UFPR, 2015.

ROY J. Dossat. **Princípios de Refrigeração**. 4ª Edição 2007.

STOECKER W. F., JABARDO, José Maria Sáiz. **Refrigeração Industrial**. 2ª Edição 2002.

TOMAZ, PLÍNIO, **Engenheiro do Curso de Manejo de Águas Pluviais**. Capítulo 51 p.3 e p.8, – Cobertura Verde – 2008.

OTIMIZAÇÃO DE UM EIXO-ÁRVORE BASEADO NO DIAGNÓSTICO POR ANÁLISE DE VIBRAÇÃO

Leandro Talevi Machado¹ e Kevin Mauricio Menon Ribeiro²



RESUMO

Este trabalho apresenta através da técnica de manutenção preditiva por análise de vibração, o diagnóstico da causa raiz dos elevados níveis de vibração presentes em um equipamento rotativo existente em uma indústria madeireira. Tem-se como objetivo a atenuação dos níveis de vibração do equipamento com base na análise de causa raiz, onde a mesma está relacionada ao diagnóstico de ressonância do eixo-árvore da máquina. O diagnóstico é obtido por meio da análise de vibração convencional, pelo ensaio prático “bump test” para a aquisição de frequências naturais e por meio da simulação numérica para o cálculo das frequências naturais e dos respectivos modos de vibrar do eixo-árvore a partir do Método dos Elementos Finitos. Na sequência do estudo, pretende-se através da simulação numérica, redimensionar o eixo-árvore, alterando assim a sua frequência natural, consequentemente gerando a redução dos níveis de vibração da máquina oriundos da ressonância.

Palavras-chave: manutenção; ressonância; vibração.

ABSTRACT

This work presents, through the vibration analysis predictive maintenance technique, the root cause diagnosis of the high levels of vibration present in a rotary equipment existing in a timber industry. The objective is to attenuate the vibration levels of the equipment based on the root cause analysis, where it is related to the resonance diagnosis of the spindle of the machine. The diagnosis is obtained by means of conventional vibration analysis, by the practical bump test for the acquisition of natural frequencies and by numerical simulation for the calculation of the natural frequencies and the respective spindle vibrating modes from the Finite Element Method. Following the study, it is intended by means of the numerical simulation, to resize the spindle, thus altering its natural frequency, consequently generating a reduction of the vibration levels of the machine generated by resonance.

Key words: maintenance; resonance; vibration.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Almeida (2012), as indústrias modernas têm procurado constantemente maneiras de aumentar a produção e reduzir os custos gerais, incluindo o de manutenção, e ainda melhorar a qualidade dos produtos. Para conseguir estes objetivos, as máquinas precisam funcionar com grande

¹ Acadêmico do curso de Engenharia Mecânica na FATEB – e-mail: <leandrotallevi@gmail.com>.

² Professor do curso de Engenharia Mecânica na FATEB e orientador do resumo expandido – e-mail: <eng.kevin.mmr@gmail.com>.

confiabilidade. A técnica de análise de vibrações possibilita identificar eventuais falhas, criando-se condições de planejar os reparos necessários.

O princípio básico de utilização da análise de vibração como técnica preditiva consiste na identificação do nível de vibração que pode diferenciar o estado normal de funcionamento de uma situação com alguma irregularidade. “Após a identificação das anormalidades do equipamento a análise de vibração permite relacionar o aspecto da vibração com a causa do problema”. (NASSAR, 2002).

Segundo Rao (2009), as vibrações geradas por ressonâncias de máquinas e estruturas podem levar a falhas catastróficas. Se, após uma perturbação inicial, um sistema continuar a vibrar por si próprio sem a ação de forças externas, a frequência com que ele oscila é conhecida como sua frequência natural. Sempre que esta frequência coincidir com alguma frequência de excitação externa, ocorre o fenômeno conhecido como ressonância, que resulta em deflexões excessivas. A “Velocidade Crítica” é um tipo especial de ressonância que ocorre quando a velocidade de rotação de máquina coincide com uma das frequências naturais do sistema.

Para Guilherme (2016), o teste de impacto ou “bump test” é o mais simples e amplamente utilizado entre todas as técnicas para teste de identificação de frequências naturais em máquinas. O método consiste na aplicação de uma força externa exercida por um martelo específico que excita a frequência natural da peça.

Com base nestes conceitos, este trabalho destaca a importância de um programa de manutenção preditiva no cenário industrial, auxiliando assim, no diagnóstico de problemas em equipamentos rotativos, trazendo inúmeros benefícios às organizações, tais como, redução dos custos de manutenção, confiabilidade e melhoria na qualidade dos produtos.

O trabalho aborda a utilização da técnica de manutenção preditiva por análise de vibração para identificar a causa raiz dos elevados níveis de vibração presentes em um equipamento rotativo utilizado no processo produtivo de uma indústria madeireira. O objetivo principal do estudo é otimizar o eixo-árvore do equipamento, de modo a evitar o fenômeno de ressonância, pois, a máquina opera próxima de sua velocidade crítica, gerando por consequência altos níveis de vibração.

2. METODOLOGIA

A metodologia do trabalho baseia-se em três etapas. Na primeira etapa é realizada a análise de vibração convencional, com o intuito de identificar as amplitudes e frequências predominantes na estrutura sob análise. A segunda etapa consiste no ensaio prático “bump test”, que permite a identificação das frequências naturais do eixo-árvore da máquina. A terceira etapa aborda a análise computacional em CAD (computer aided design), onde através deste recurso é realizada a análise modal que tem o objetivo de determinar as frequências naturais e propor soluções.

Instrumentos utilizados:

- Coletor / analisador de dados;
- Sensor de vibração: acelerômetro de sensibilidade 100mV/G;
- Software de análises / gerenciamento;
- Macete de poliuretano;
- Tacômetro digital;
- Fita reflexiva.

Etapas da análise de vibração convencional:

- Preparar todos os dispositivos do aparelho analisador;
- Posicionar-se corretamente diante o equipamento, de modo a não permanecer no raio de ação do sentido de giro do mesmo;

- Fixar o sensor de vibração nos mancais do equipamento, nas posições vertical, horizontal e axial e realizar a coleta e armazenamento dos dados;
- Analisar os dados coletados.

Etapas do ensaio “bump test”:

- Fixar a fita reflexiva sobre o eixo-árvore com o mesmo em repouso,
- Ligar o equipamento e captar sua rotação com auxílio do tacômetro;
- Desligar o equipamento e fixar o sensor de vibração no eixo-árvore;
- Golpear suavemente o eixo-árvore com o macete de poliuretano;
- Coletar o sinal de vibração no domínio do tempo e na frequência;
- Analisar os dados coletados.

3. DESENVOLVIMENTO

Para a análise de vibração convencional, o ponto com os maiores níveis de vibração do equipamento é medido nas três direções, fornecendo os seguintes resultados da Tabela 1:

Tabela 1: Frequência e amplitude no ponto com maiores níveis de vibração

Posição	Frequência (Hz)	Amplitude (mm/s)
Horizontal	59,8 Hz	23,2 mm/s
Vertical	59,8 Hz	9,4 mm/s
Axial	59,8 Hz	7,3 mm/s

Fonte: O autor, 2018

Das informações acima, pode-se notar que a frequência que apresenta a maior amplitude é a de 59,8 Hz, correspondente a 23,2 mm/s na posição horizontal e valor global de 16,67 mm/s. A Tabela 2 mostra a classificação das zonas de intensidade de vibração recomendadas para equipamentos com potência de 15 kW a 300 kW, segundo norma ISO 10816-3, o que inclui o equipamento analisado.

Tabela 2: Níveis de vibração recomendados para as partes rotativas

Tipo de base	Limite da zona	D_{RMS} (µm)	V_{RMS} (mm/s)
Flexível	A/B	37	2,3
Flexível	B/C	71	4,5
Flexível	C/D	113	7,1

Fonte: ISO 10816-3, 2009

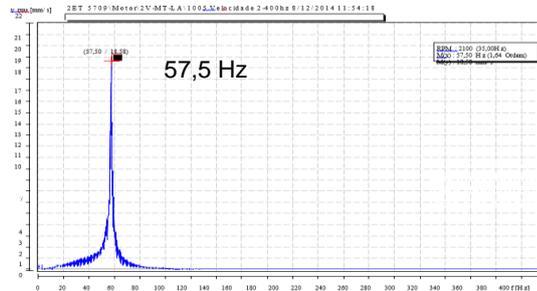
- Zona A: As vibrações de uma nova máquina comissionada;
- Zona B: Vibrações aceitáveis para um longo tempo de operação;
- Zona C: Não aceitáveis para longo período de funcionamento contínuo;
- Zona D: Vibrações severas para se causar dano à máquina.

Como pode ser observado na Tabela 2, os níveis vibratórios do equipamento enquadram-se na Zona D, podendo causar danos ao equipamento.

Após a aplicação dos conhecimentos relacionados análise de vibração convencional, obteve-se o diagnóstico de uma possível ressonância associada a velocidade crítica da máquina. Para confirma o diagnóstico, utilizou-se a técnica de identificação de frequências naturais “bump test”, onde foi possível identificar a

frequência natural do eixo-árvore. A Figura 1 mostra o sinal de vibração captado no domínio da frequência, destacando a frequência natural de 57,5 Hz. Neste caso, o diagnóstico de ressonância é comprovado, pois, a máquina opera com sua frequência de rotação de 59,8Hz muito próximo da frequência natural do eixo-árvore.

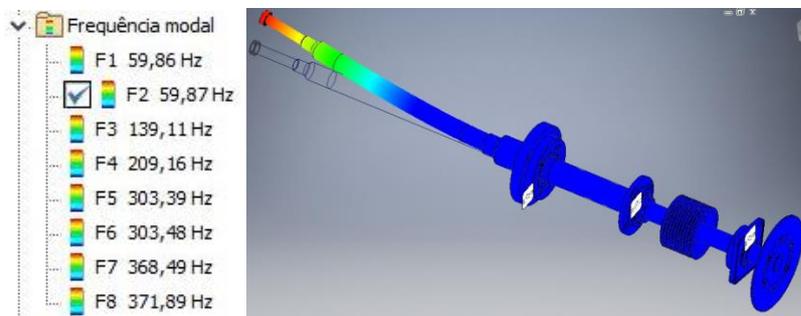
Figura 1: Espectro de vibração obtido pelo ensaio bump test



Fonte: O autor, 2018

Na terceira e última etapa, realizou-se a simulação numérica através do Método dos Elementos Finitos para determinar os modos naturais e o comportamento dinâmico do sistema, validando os resultados obtidos pela análise de vibração convencional e pelo ensaio bump test. A Figura 2, mostra os resultados obtidos na análise modal do sistema, onde foram calculadas as oito primeiras frequências naturais, destacando o segundo modo com frequência natural 59,8 Hz.

Figura 2: Análise modal do eixo-árvore



Fonte: Inventor, 2018

4. CONCLUSÃO

Na simulação, observa-se que dentre os modos naturais calculados há a existência de frequências naturais próximas a frequência operacional de 58,9 Hz. Verificou-se que os dois primeiros modos naturais de 59,86 e 59,87 Hz possuem similaridade com o modo de vibrar identificado através do ensaio “bump test”, desta forma sendo validado o modelo e destacando a existência da ressonância.

Na continuidade deste estudo, com o auxílio da simulação numérica para o cálculo das frequências naturais e os respectivos modos de vibrar do eixo-árvore a partir do Método dos Elementos Finitos, pretende-se trabalhar no redimensionamento diametral do eixo-árvore (modificação da massa), alterando assim sua frequência natural, com a expectativa de reduzir os níveis de vibração da máquina gerados por ressonância, uma vez que a frequência natural e a frequência de operação tendem a se afastar.

REFERÊNCIAS

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. ISO 10816-3/2009: **Vibrações Mecânicas – Avaliação das vibrações das máquinas pela medição de suas partes não rotativas**. Rio de Janeiro, ABNT, 2009

ALMEIDA, Márcio Tadeu de. **Manutenção Preditiva: Confiabilidade e Qualidade**. Itajubá: Escola Federal de Engenharia. Disponível em: www.mtaev.com.br/download/mnt1.pdf. Acesso em 28 mar. 2018.

FILHO, G. B. **A Organização, o Planejamento e o Controle da Manutenção**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2008.

GUILHERME, José. **Análise de Vibração estrutural – Conceitos Básicos**. Araras: Ensus. Disponível em: <http://ensus.com.br/analise-de-vibracao-estrutural-conceitos-basicos-2/>. Acesso em 01 set. 2018.

MARÇAL, Rui F. M. **Um método para detectar falhas incipientes em Máquinas Rotativas baseado em Análise de Vibrações e Lógica Fuzzy**. 2000. 124 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, de Minas e dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2000

MENNA, Alexandre Ribeiro. **Detecção de Falhas em Mancais de Rolamentos por Análise de Vibrações em Banda Larga: Um Caso Prático de Aplicação em Uma População de Equipamentos Rotativos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRS. Porto Alegre, 2007.

MOBLEY, K.; HIGGINS, L. R.; WIKOFF, **Maintenance Engineering Handbook**. 7ª. ed. New York: McGraw-Hill, 2008.

NASSAR, W. R. **Manutenção de Máquinas e Equipamentos**: Apostila do Curso de Engenharia Mecânica. Universidade Santa Cecília, 2002.

RAO, S. **Vibrações Mecânicas**. 4. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

PLANO DE MANUTENÇÃO CORRETIVA E PREVENTIVA DE MÁQUINAS FLORESTAIS



Alex Sandro dos Santos¹ e Luis Carlos Menezes Almeida Junior²

RESUMO

O presente trabalho é apresentado os conceitos de manutenção preventiva, corretiva, preditiva, detectiva e Engenharia de Manutenção. Um plano de manutenção bem definido pode proporcionar uma redução significativa nos custos da empresa. O resultado desse trabalho é o plano de manutenção preventiva, no qual a parada de máquinas será reduzida e melhorias de qualidade nas peças produzidas trazem ganhos de produção e também maior a competitividade à empresa. Ao longo dos anos a gestão de manutenção vem se adequando as novas tecnologias, já não são mais vistas como prejuízo financeiro nas empresas, melhorando assim a qualidade de seus produtos deixando clientes mais satisfeitos.

Palavras-chave: Gestão de Manutenção; Manutenção; Planejamento e controle de Manutenção.

ABSTRACT

The present work presents the concepts of preventive maintenance, corrective, predictive, detective and Maintenance Engineering. A well-defined maintenance plan can provide a significant reduction in company costs. The result of this work is the preventive maintenance plan, in which the machine shutdown will be reduced and quality improvements in the parts produced bring gains in production and also greater competitiveness to the company. Over the years, maintenance management has adapted to new technologies, are no longer seen as financial loss in companies, thus improving the quality of their products leaving customers more satisfied.

Key-words: Management of Maintenance; Maintenance; Planning and Control of Maintenance.

1. INTRODUÇÃO

A manutenção tem se mostrado cada vez mais preocupado com tempo de parada de equipamentos. Sua principal função é garantir menos tempo de parada e a disponibilidade dos equipamentos e instalações. Na empresa a produção é um objetivo evidente, e a manutenção é o ponto forte para a produção. A manutenção deve agir de forma incorporada com as demais áreas, dessa forma, a empresa aumenta a produção e se torna cada vez mais competitiva.

As atividades de manutenção têm objetivo de evitar possíveis falhas e quebras dos equipamentos e instalações, entre outros. Que a má operação e o desgaste natural causam. As degradações podem ser manifestada como paradas da produção, perdas de desempenho, produtos de má qualidade, poluição ao meio ambiental, entre outros. Essas manifestações tem uma grande influência negativa na

¹ Acadêmico do curso Engenharia Mecânica na FATEB – e-mail: <alex.sandro.santos@hotmail.com>

² Professor na FATEB < lcalmeida123@gmail.com >

qualidade do produto e produtividade, podendo colocar em risco a sobrevivência da empresa. Isso mostra a importância da gestão de manutenção para melhoria da produtividade.

Segundo Kardec e Nascif (2009, p. 9)

“A Manutenção existe para que não haja manutenção; estamos falando da manutenção corretiva não planejada. Isto Parece paradoxal à primeira vista, mas numa visão mais aprofundada, vemos que o trabalho da manutenção está sendo enobrecido onde, cada vez mais, o pessoal da área precisa estar qualificado e equipado para evitar falhas e não para corrigi-las”

2. OBJETIVO

Neste trabalho, serão descritas seis práticas básicas de manutenção, consideradas como principais por diversos autores. São elas: manutenção corretiva planejada e não-planejada, manutenção preventiva, manutenção preditiva, manutenção detectiva e engenharia de manutenção.

3. METODOLOGIA

O presente trabalho utiliza de pesquisa aplicada, pois o estudo desenvolvido será empregado na realidade do dia a dia da empresa. Como Vergara (2005, p. 45) bem explica, “a pesquisa aplicada é fundamentalmente motivada pela necessidade de resolver problemas concretos, mais imediatos. Tem, portanto, finalidade prática, ao contrário da pesquisa pura, motivada basicamente pela curiosidade intelectual do pesquisador e situada sobretudo no nível da especulação”.

A presente pesquisa tem caráter avaliatória por ser centrada na realidade da empresa, além de ser bibliográfica, documental e de campo. Pesquisa de campo é investigação empírica realizada no campo.

Pesquisa documental é baseado através de coletas dados semanais, mensais e procedimentos, em manutenção corretiva, planejada e não planejada, manutenção preventiva, preditiva, detectiva e engenharia de manutenção. Que através destes conceitos, será verificado em uma empresa do ramo florestal os pontos de melhorias e assim diminuir as paradas inesperadas dos equipamentos.

4. DESENVOLVIMENTO

4.1. Dados Coletados no Campo

4.1.2. Indicador de Disponibilidade Mecânica (Dm)

Horas Mecânicas/ Horas Totais – Refeições.

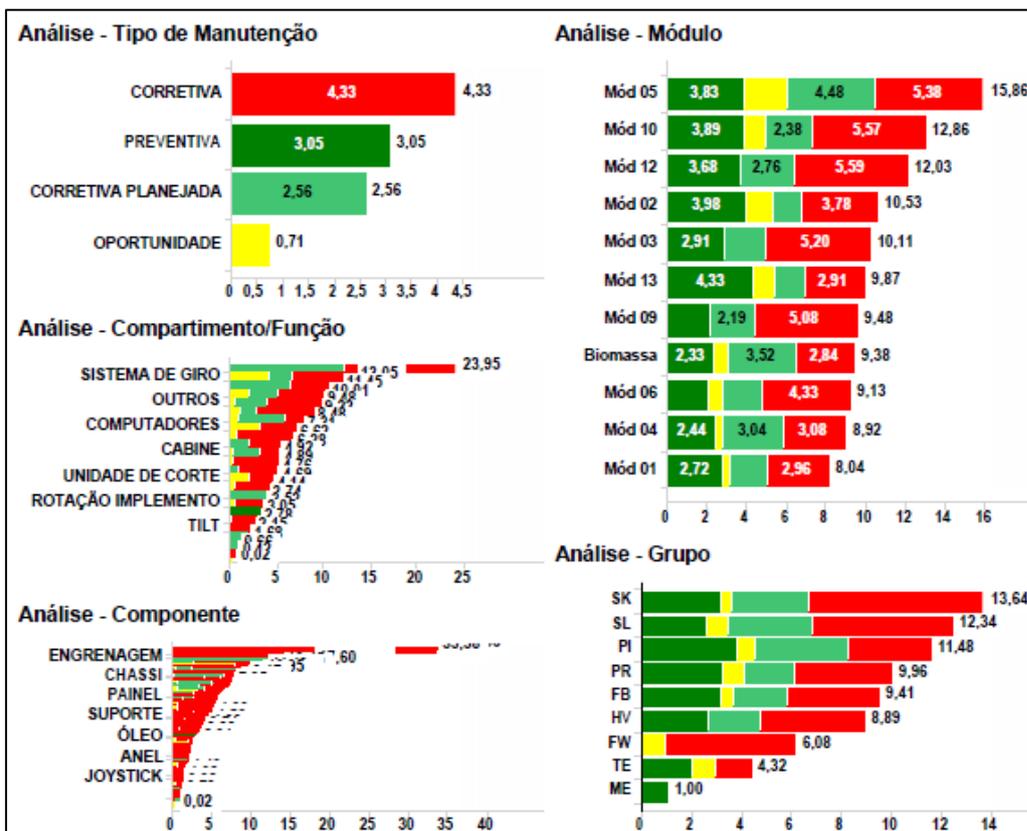
Gráfico 1 – Controle de Manutenção versus informatizado



Fonte: (Autor 2018).

4.1.3. Análise Tipo de Manutenção

Gráfico 2 – Controle de Manutenção versus informatizado



Fonte: (Autor 2018)

5. CONCLUSÃO

Devido a implantação para manutenção preventiva e preditiva elaborado, consiga-se: evitar quebras desnecessário e perda de produção; expandir o cronograma de manutenção, para os demais equipamentos e demais setores; estimular e motivar o senso de responsabilidade dos colaboradores; conseguir mais envolvimento dos operadores nas atividades de manutenção; garantir que o equipamento tenha mais disponibilidade de operação dando mais confiabilidade no maquinário, assim o setor de manutenção terá maior desempenho.

Será avaliado os indicadores, espera-se que as melhorias sejam implantadas, para obter resultados cada vez melhores no desempenho da organização é gerado um ciclo de melhoria continua.

Pelo apresentado pode-se concluir que, como na área florestal está em fase de implantação e para os mecânicos é um conceito novo de trabalho, a manutenção corretiva vem se sobressaindo. Alguns módulos já estão com a manutenção preventiva como linha de frente, onde a manutenção para a máquina para realizar preventivas, diminuindo um grande índice de corretivas.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Márcio Tadeu de. **Manutenção Preditiva: Confiabilidade e Qualidade**. Disponível em: < <http://www.mtaev.com.br/download/mnt1.pdf> > Acesso em 10 out. 2018.

COSTA, Mariana de Almeida. **Gestão estratégica da Manutenção: uma oportunidade para melhorar o resultado operacional**. 2013. 103f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013.

FERREIRA, L. L.. **Implementação da Central de Ativos para melhor desempenho do setor de manutenção**: um estudo de caso Votorantim Metais. 2009. 60f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2009.

FREITAS, Marco Antônio Scarela de. **Implementação da Filosofia TPM (Total Productive Maintenance)**: um estudo de caso. 2002. Disponível em: <<http://www.epr.unifei.edu.br/TD/producao2002/PDF/Marco.PDF>>. Acesso em: 10 dez. 2015.

KARDEC, A.; NASCIF J. **Manutenção: função estratégica**. 3ª edição. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás, 2009. 384 p.

VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e Relatórios de Pesquisa Científica em Administração**. 2. ed. São Paulo: Ed. Atlas, 1998. 90 p.

Engenharia Química

ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO POR HIDROCARVÃO DE CASCA DE BANANA



Ana Carolina de Lima Barizão¹, Murilo Barbosa de Andrade²; Marcela Fernandes Silva³; Rosângela Bergamasco⁴; Raquel Gutierrez Gomes⁵

RESUMO

Os corantes são comumente utilizados na indústria para conferir caráter mais agradável a uma infinidade de produtos, no entanto, na grande maioria das vezes os mesmos não são removidos nos tratamentos de efluentes usuais, gerando uma alta carga de poluentes descartados nos corpos d'água. Assim, o presente trabalho visou a aplicação do hidrocarvão de casca de banana, na adsorção do corante azul de metileno. O adsorvente foi caracterizado por meio de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectrometria de raios-X dispersiva de energia (EDX). Foram analisadas, a interferência da concentração inicial do adsorvente no processo de adsorção e também a influência do tempo de contato através de testes de cinética de adsorção. O valor de qt encontrado foi de 17, 73 mg g⁻¹ e R= 88,85%, alcançando o equilíbrio em 300 min. O modelo cinético que melhor se aplicou aos dados foi o modelo de pseudo- segunda ordem, com valor de R² de 0.96981. O hidrocarvão apresentou uma boa capacidade de adsorção além de ser considerado um bioadsorvente.

Palavras chave: Corantes; Resíduos orgânicos; Bioadsorventes.

ABSTRACT

Dyes are commonly used in the industry to provide more enjoyable features to a myriad of products, however, in the vast majority of cases it is not removed by usual effluent treatments generating high loads of pollutants discarded in the water bodies. Thus, the present work aimed at the application of the banana peel hydrocarbon in the adsorption of the methylene blue dye. The adsorber was characterized by Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy Dispersive X-ray Spectrometry (EDX). It was analyzed the interference of the initial concentration of the adsorber in the adsorption process and also the influence of contact time through adsorption kinetics tests. The qt value found was 17,73 mg g⁻¹ and R= 88,85% reaching equilibrium in 300 min. The best kinetic model applied to the data was the pseudo-second order model with R² value of 0.96981.

Key words: Dyes, Organic waste, Biosorbents.

¹Graduada em Engenharia Ambiental, mestranda em Biotecnologia Ambiental pela Universidade Estadual de Maringá- e-mail: <carolina.barizao@gmail.com>.

²Graduado em Engenharia Química, doutorando em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá- e-mail: <mubandrade@hotmail.com>.

³Graduada em Química, Mestre em Química e Doutora em Química pela Universidade Estadual de Maringá- <celafs@gmail.com>.

⁴Doutora em Engenharia Química, professora do Departamento de Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá- <ro.bergamasco@hotmail.com>.

⁵ Doutora em Engenharia e Ciência de Alimentos pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, professora do Departamento de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Maringá- <rgutti02@bol.com>

1. INTRODUÇÃO

Os corantes são amplamente utilizados em diversas áreas da produção industrial, para conferir caráter mais atrativo aos produtos finais, sejam eles alimentícios, têxteis, de beleza, limpeza e afins, o que acarreta na geração de efluentes com uma grande variedade de substâncias tóxicas e cor característica (SILVA et al., 2008). Estima-se que cerca de 100.000 corantes comerciais estejam disponíveis no mercado, com uma produção calculada entre 7.105 a 1.106 toneladas por ano (GUPTA; SUHAS., 2009; CHRISTIE, 2007; GUARATINI; VALNICE; ZANONI, 2000). Mesmo em baixas concentrações, a cor intensa pode gerar aspecto desagradável a corpos d'água, além de interferir em processos básicos do ecossistema, como déficits nos processos fotossintéticos de inúmeros organismos além da redução da solubilidade do oxigênio devido a alta demanda química, acarretando em desequilíbrio ecossistêmico (MOS; TUNNELING; EFFECT, 2016).

Considerado um corante amplamente utilizado no setor industrial, o corante azul de metileno pode causar diversos malefícios a saúde, como queimaduras oculares, náuseas, vômitos, confusão mental e entre outros (HAMEED; AHMAD; LATIFF, 2007). A remoção destes corantes durante o tratamento de efluentes por métodos convencionais, como decantação, filtração e afins, muitas vezes é ineficiente devido ao pequeno tamanho de suas moléculas e alta estabilidade, assim, a aplicação de metodologias alternativas como membrana (ZWANE et al., 2017), coagulação (MORSHEDI et al., 2013), remediação oxidativa (PAN et al., 2017), adsorção (LEÃO et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2018) podem ser foco de diversos estudos.

Dentro da adsorção o uso de carvões sintetizados a partir de diferentes matérias primas vem apresentando excelentes resultados, sendo o hidrocarvão uma classe de carvão amplamente estudada. O hidrocarvão (hidrochar) é um produto com alto teor de carbono produzido pela carbonização hidrotérmica (HTC) da matéria orgânica a temperaturas menores que 300 °C e em condições anóxicas (LU; SAVAGE, 2015). Essa carbonização envolve normalmente cinco mecanismos de reação, sendo eles hidrólise, desidratação, descarboxilação, aromatização e recondensação (FANG et al., 2018; PARSHETTI; KENT HOEKMAN; BALASUBRAMANIAN, 2013; (SEVILLA; MACIÁ-AGULLÓ; FUERTES, 2011). É importante evidenciar que eles não ocorrem de maneira sucessiva, e sim simultaneamente e interligados entre si. O hidrocarvão pode ser visto como uma alternativa viável para a reversão do desperdício de matéria orgânica, já que pode ser produzido a partir de diferentes matérias primas como fezes animais, resíduos agrícolas e biomassa de forma geral (LU; SAVAGE, 2015). A HTC é conhecida por ter várias vantagens, como menor consumo de energia e menor emissão de gases. Uma maior variedade de matérias primas pode ser considerada para o processamento em hidrocarvão, já que a secagem da matéria-prima não é necessária, diferentemente de outras técnicas, onde as matérias-primas com alto teor de umidade acabam produzindo baixas quantidades de material sólido após a secagem, o que as torna fontes insuficientes de pirólise (FANG et al., 2018; GAÑÁN et al., 2006; JAGTOYEN; DERBYSHIRE, 1998). Outra vantagem é que a HTC produz maiores quantidades de carvão e usa menos energia do que a pirólise, parcialmente devido ao fato de utilizar temperaturas mais baixas, sendo que essa temperatura operacional mais baixa deve-se às temperaturas de ativação das reações químicas que ocorrem quando a biomassa é aquecida na presença de

líquido (LI; LI; LIU, 2011; LYNAM et al., 2011) .

Como uma grande variedade de matérias primas podem ser utilizadas na produção do hidrocarvão, diversos resíduos orgânicos podem ser considerados. Estima-se que 10 % de toda a matéria vegetal produzida mundialmente, constituída de talos folhas e cascas, sejam descartados, representando uma perda de quatro milhões de toneladas, que poderiam ser reaproveitados para diversas finalidades (MELO; FARIA, 2014). A banana é uma das frutas mais importantes do mundo, onde no Brasil é amplamente produzida e consumida, o que pode ser explicado pela possibilidade de produção contínua ao longo do ano, alto rendimento de produção e facilidade de manejo, além de muito saborosa o que faz com que seja apreciada pela maioria da população. No entanto, a fruta não é consumida por inteiro, e na grande maioria das vezes as cascas são descartadas, gerando um grande volume de biomassa que poderia ser aplicada a diversos fins e no entanto, é apenas descartada aos demais resíduos até mesmo por indústrias. De tal forma, o presente estudo visa a utilização da casca de banana na síntese de hidrochar, para aplicação na adsorção do corante azul de metileno.

2. METODOLOGIA

A matéria prima (cascas de banana) utilizadas na preparação do hidrocarvão foi adquirida em feiras locais no município de Maringá-PR, durante o inverno, precisamente no mês de Julho. As mesmas foram lavadas, secas em estufa a 80 °C e moída até o tamanho desejado (> 300 µm). A carbonização foi feita de acordo com a metodologia proposta por (GAI et al., 2017), com modificações, em um reator tubular vertical de aço inoxidável, onde foram adicionados 5 g da matéria vegetal seca em 60 ml de água destilada, sendo o reator então selado e aquecido a 200 °C durante 6 horas. Após o resfriamento, o hidrocarvão foi lavado três vezes, para retirar o excedente de cor, e posteriormente foi seco em estufa por 3 horas a 80 °C. Para se verificar as características morfológicas da amostra, foram realizadas a análise por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) usando o microscópio Quanta 250- Fei, juntamente com um sistema de Espectrometria de raios-X dispersiva de energia (EDX).

O adsorvato utilizado foi o corante azul de metileno, que se trata de um composto orgânico, solúvel em água ou álcool. No presente estudo o mesmo foi solubilizado em água até que se chegasse a uma concentração de 20 mg L⁻¹.

A eficiência de remoção do adsorvente para o corante em questão foi verificada a partir de experimentos de adsorção em batelada. Para se verificar a influência da variação da concentração inicial do adsorvente, os testes de adsorção foram realizados variando a concentração do adsorvente em 0,5, 0,75, 1 e 1,5 mg L⁻¹. Para os testes de cinética de adsorção foram utilizados 20 mg de adsorvente e 20 mL de solução de corante a uma concentração de 20 mg L⁻¹. O pH 7 foi adotado para todos os testes, assim como a temperatura de 25 °C e agitação de 150 rpm.

As amostras foram colocadas em um banho de Dubnoff (304 TPA), nas condições especificadas acima, para diferentes intervalos de tempo, sendo posteriormente filtradas em membrana (0,45 µm) e a concentração final de corante determinada em espectrofotômetro UV-Vis. Todos os experimentos foram realizados em duplicata. A capacidade de adsorção no equilíbrio (qt) e a porcentagem de remoção dos corantes (%R) foram determinadas pelas Equações 1 e 2 respectivamente:

$$q_t = \frac{C_0 - C_e}{m} \cdot V \quad (1)$$

$$\%R = (C_0 - C_e) \cdot \left(\frac{1}{C_0}\right) \cdot 100 \quad (2)$$

Onde, C_0 e C_e são as concentrações inicial e final de corante (mg L^{-1}), V é o volume da solução (L) e m é a massa de adsorvente (g) (GAUTAM et al., 2015; DOTTO et al., 2011). Os dados de adsorção foram ajustados aos modelos não-lineares, de pseudo-primeira e pseudo-segunda ordem, cujas, equações encontram-se demonstradas na Tabela 1.

Tabela 1- Modelos Cinéticos de Pseudo- primeira e Pseudo- segunda ordem.

Modelos Cinéticos	Equações
Pseudo- primeira ordem	$qt = q_e(1 - \exp - K_1t)$
Pseudo- segunda ordem	$qt = K_2q_e^2t/1 + K_2q_e t$

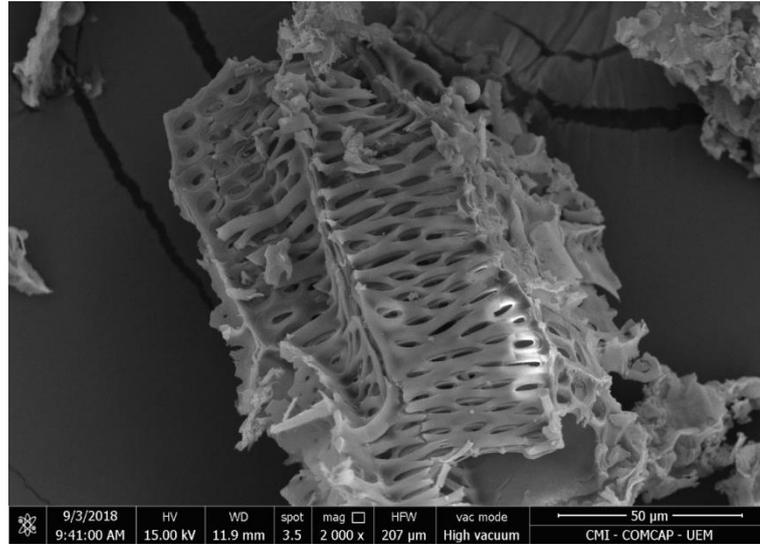
Fonte: (SILVEIRA et al., 2017).

Onde, q_e é a capacidade de adsorção no equilíbrio, qt é a quantidade de adsorvato adsorvido (mg g^{-1}) no tempo t (min), e K_1 (min^{-1}) e K_2 ($\text{g mg}^{-1} \text{min}^{-1}$) são as constantes de taxa de pseudo- primeira e pseudo- segunda ordem respectivamente.

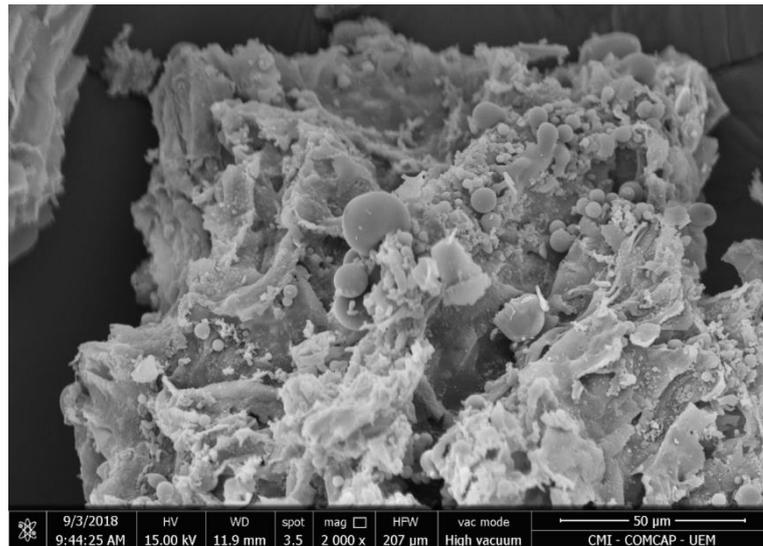
3. DESENVOLVIMENTO

Através das micrografias obtidas por MEV é possível observar a superfície da amostra, sendo que na Figura 1 (a) observa-se uma superfície altamente porosa, enquanto na Figura 1 (b) ocorreu um bloqueio de poros. Essa situação é comumente encontrada quando se trata de hidrocarvão, devido às temperaturas mais baixas aplicadas ao processo de síntese, em que há a permanência persistente de produtos de decomposição na superfície do material bloqueando o acesso aos poros (ABEL et al., 2013; FERNANDEZ et al., 2015). Estas substâncias podem ser removidas da superfície por meio de métodos de ativação, que podem torná-lo um carvão de alta porosidade. A ativação pode ser física ou química, sendo que a física vem apresentando resultados mais satisfatórios, como é o caso de Khataee et al. (2017), que realizou a ativação química do hidrocarvão feito a partir borra de café com ácido fosfórico e também física em fluxo constante de CO_2 , sendo que no último caso a área superficial específica passou de 300 para 600 $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$, comprovando a efetividade do método. O teor de C e O também foram determinados e encontram-se demonstrados na Figura 2.

Figura 1- Micrografias de hidrocarvão de casca de banana obtidas por MEV.



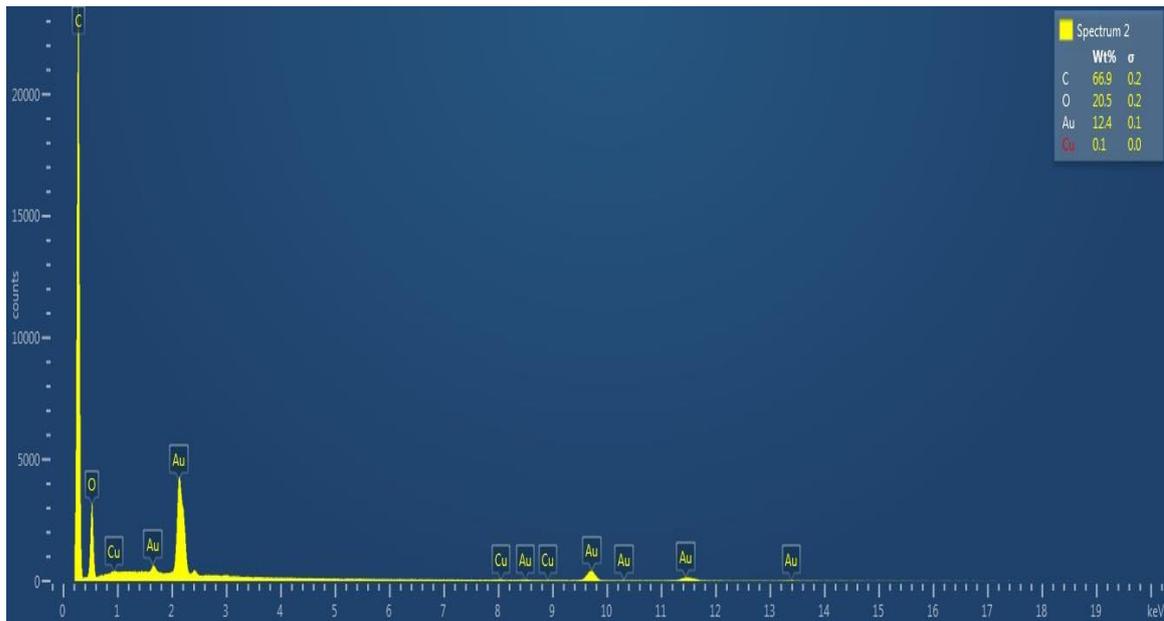
(a)



(b)

Fonte: Autor.

Figura 2 - Espectrografia do carvão de casca de banana obtida por EDX.

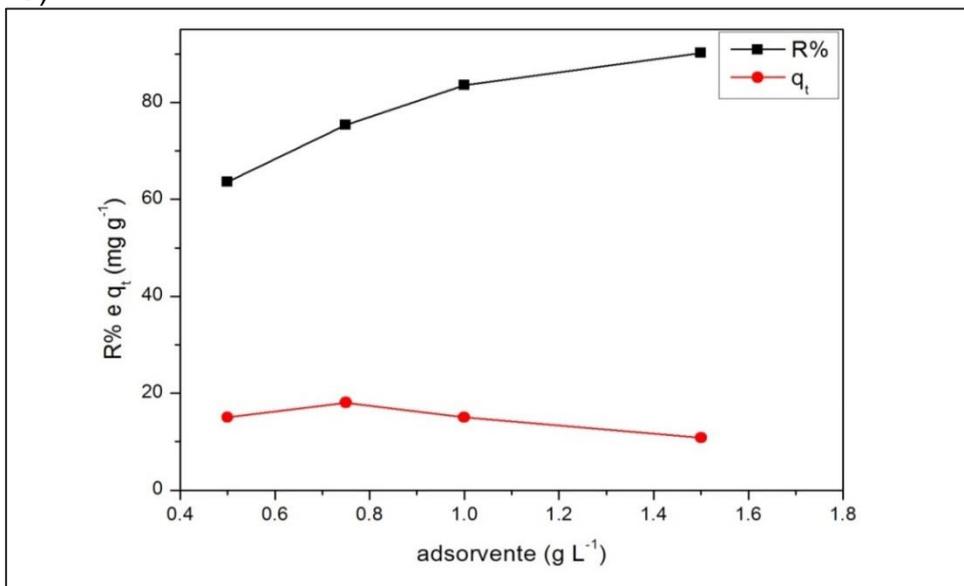


Fonte: Autor.

Podemos observar na espectrografia (Figura 2) que o teor de C foi de 66.9 % e O de 20.5 % presentes na amostra. Se comparado a outros tipos de carvões, produzidos a partir de outros tipos de metodologias, o hidrochar geralmente apresenta o conteúdo de carbono reduzido. Isso ocorre devido à menor desidratação da matéria prima durante o processo hidrotermal (LIBRA et al., 2011; ROMÁN et al., 2012).

O efeito da concentração inicial do adsorvente foi avaliado, sendo que os resultados podem ser observados na Figura 3, que segue.

Figura 3 - Efeito da concentração inicial do adsorvente na adsorção de azul de metileno ($C_0= 20 \text{ m L}^{-1}$, $C_{\text{adsorbente}}= 0.5 \text{ à } 1.5 \text{ mg L}^{-1}$, Agitação= 150 rpm, $T= 25 \text{ }^\circ\text{C}$).

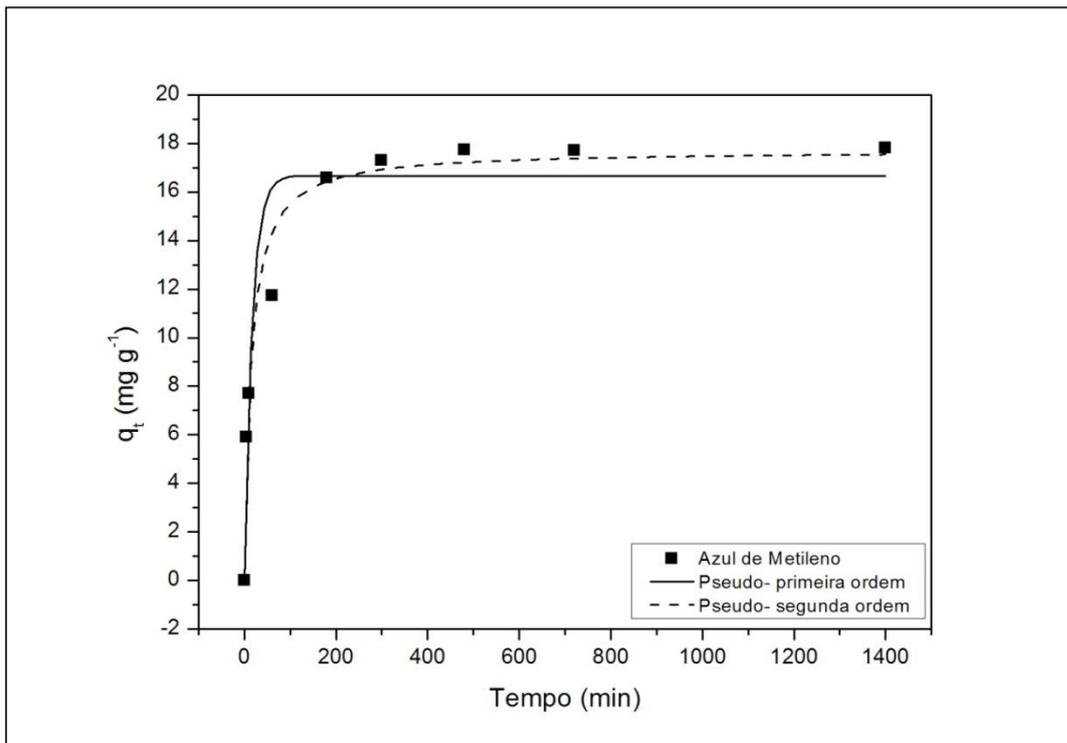


Fonte: Autor.

É perceptível que a adsorção do corante foi mais baixa para a menor concentração de adsorvente, aumentando paralelamente ao aumento da concentração de adsorvente, enquanto o q_t também foi menor a menor concentração de adsorvente, porém, aumentando para a concentração de 0.5 mg g⁻¹ e novamente diminuindo com o aumento da concentração, o que já era esperado, pois de acordo com a Equação 2 os valores de q_t e massa de adsorvente são inversamente proporcionais, ou seja, a porcentagem de remoção aumenta apenas devido ao aumento da concentração de adsorvente, e não devido ao aumento na adsorção, enquanto, a capacidade de adsorção decai devido ao aumento da massa de adsorvente. Assim, optou-se pela utilização da concentração inicial de corante de 20 mg g⁻¹ nos testes de cinética de adsorção, já que a essa concentração foi verificada a melhor relação entre q_t e %R.

A cinética de adsorção foi realizada visando verificar o comportamento do processo de adsorção em relação ao tempo, chegando-se ao valor de q_t de 17,73 mg g⁻¹ e R% igual a 88,85% à 300 min., onde o equilíbrio foi atingido. Para uma melhor compreensão do processo de adsorção, modelos não-lineares de pseudo-primeira e pseudo-segunda ordem foram ajustados aos dados de adsorção, como demonstrados na Tabela 2 e Figura 4.

Figura 4 - Modelos de pseudo- primeira e pseudo- segunda ordem aplicados aos dados de adsorção de azul de metileno por hidrocarvão de casca de banana ($C_0= 20$ m L⁻¹, $C_{adsorbente}= 0.5$ mg L⁻¹, Agitação= 150 rpm, T= 25 °C).



Fonte: Autor.

Tabela 2 - Parâmetros cinéticos para adsorção de azul de metileno utilizando hidrocarvão de casca de banana.

Pseudo- primeira ordem		
K₁ (min⁻¹)	R²	q_e (mg g⁻¹)
0.05881	0.91249	16.669
Pseudo- segunda ordem		
K₂ (min⁻¹)	R²	q_e (mg g⁻¹)
0.0039	0.96981	17.723

Fonte: Autor.

Avaliando os dados acima verifica-se uma adsorção inicial rápida, provavelmente pelo grande número de poros disponíveis, tendendo ao equilíbrio (DOTTO et al., 2011). Ambos os modelos apresentaram valores de coeficientes de correlação (R²) consideráveis, no entanto, o melhor valor foi dado pela aplicação do modelo de pseudo- segunda ordem, com R²= 0.96981. A aplicabilidade do modelo foi confirmada também comparando-se o valor de q_t, aos de q_e fornecidos pelos modelos, sendo que o modelo de pseudo- segunda ordem apresenta o q_e semelhante ao valor de q_t obtido experimentalmente. Assim, é possível presumir-se então que a capacidade de adsorção do adsorvente depende do número de sítios ativos ocupados no mesmo (SILVEIRA et al., 2017).

Os resultados obtidos, apontam que o hidrocarvão de casca de banana pode ser considerado uma boa alternativa para a remoção do azul de metileno de meios aquosos, além de se tratar de um adsorvente produzido a partir de um resíduo orgânico, que usualmente é descartado, possibilitando um reuso sustentável e economicamente viável, já que pode elevar o valor agregado do resíduo, reincorporando-o na cadeia produtiva como um novo produto.

4. CONCLUSÃO

No presente trabalho foi analisada a capacidade de adsorção, bem como a cinética de adsorção do corante azul de metileno pelo hidrocarvão de casca de banana. Embora a porosidade do carvão tenha sido reduzida devido ao bloqueio de poros por compostos que não volatilizaram durante a queima, bons resultados foram encontrados. A capacidade máxima de adsorção observada foi de 17, 73 mg g⁻¹ com equilíbrio alcançado a 300 min. Dos modelos cinéticos aplicados, o que melhor se aplicou aos dados foi o de pseudo- segunda ordem, com valor de R² de 0.96981, q_e semelhante ao encontrado experimentalmente, comprovando a boa aplicabilidade do modelo. A partir dos resultados pode-se concluir que o hidrocarvão apresentou uma boa capacidade adsorção, já que foi capaz de adsorver 88, 65 % da concentração total de corante presente na amostra. Além de ser considerado um bioadsorvente, o que aumenta valor agregado a sua matéria- prima, que por se tratar de um resíduo, seria usualmente descartado.

5. AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Laboratório LGCPA da Universidade Estadual de Maringá.

REFERÊNCIAS

- ABEL, S. et al. Impact of biochar and hydrochar addition on water retention and water repellency of sandy soil. **Geoderma**, v. 202–203, p. 183–191, 1 jul. 2013.
- CHRISTIE, R. M. **Environmental aspects of textile dyeing**. [s.l.] Woodhead, 2007.
- DOTTO, G. L. et al. Remoção dos corantes azul brilhante, amarelo crepúsculo e amarelo tartrazina de soluções aquosas utilizando carvão ativado, terra ativada, terra diatomácea, quitina e quitosana: estudos de equilíbrio e termodinâmica. **Quim. Nova**, v. 34, n. 7, p. 1193–1199, 2011.
- FANG, J. et al. Minireview of potential applications of hydrochar derived from hydrothermal carbonization of biomass. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 57, p. 15–21, 25 jan. 2018.
- FERNANDEZ, M. E. et al. Development and characterization of activated hydrochars from orange peels as potential adsorbents for emerging organic contaminants. **Bioresource Technology**, v. 183, p. 221–228, 1 maio 2015.
- GAI, C. et al. Facile one-pot synthesis of iron nanoparticles immobilized into the porous hydrochar for catalytic decomposition of phenol. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 204, p. 566–576, 2017.
- GAÑÁN, J. et al. Air-activated carbons from almond tree pruning: Preparation and characterization. **Applied Surface Science**, v. 252, n. 17, p. 5988–5992, jun. 2006.
- GUARATINI, C. C. I.; VALNICE, M.; ZANONI, B. CORANTES TÊXTEIS. **Quimica Nova**, v. 23, n. 1, p. 71–78, 2000.
- GUPTA, V. K.; SUHAS. Application of low-cost adsorbents for dye removal - A review. **Journal of Environmental Management**, v. 90, p. 2313–2342, 2009.
- HAMEED, B. H.; AHMAD, A. L.; LATIFF, K. N. A. Adsorption of basic dye (methylene blue) onto activated carbon prepared from rattan sawdust. **Dyes and Pigments**, v. 75, n. 1, p. 143–149, 1 jan. 2007.
- JAGTOYEN, M.; DERBYSHIRE, F. Activated carbons from yellow poplar and white oak by H₃PO₄ activation. **Carbon**, v. 36, n. 7–8, p. 1085–1097, 1998.
- KHATAEE, A. et al. Ultrasound-assisted removal of Acid Red 17 using nanosized Fe₃O₄-loaded coffee waste hydrochar. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 35, p. 72–80, 1 mar. 2017.
- LEÃO, O. et al. Removal of anionic and cationic dyes with bioadsorbent oxidized chitosans. **Carbohydrate Polymers**, v. 194, p. 375–383, 15 ago. 2018.
- LI, M.; LI, W.; LIU, S. Hydrothermal synthesis, characterization, and KOH activation of carbon spheres from glucose. **Carbohydrate Research**, v. 346, n. 8, p. 999–1004, jun. 2011.

LIBRA, J. A. et al. Hydrothermal carbonization of biomass residuals: a comparative review of the chemistry, processes and applications of wet and dry pyrolysis. **Biofuels**, v. 2, n. 1, p. 71–106, 9 jan. 2011.

LU, Y.; SAVAGE, P. E. Supercritical water gasification of lipid-extracted hydrochar to recover energy and nutrients. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 99, p. 88–94, 1 abr. 2015.

LYNAM, J. G. et al. Acetic acid and lithium chloride effects on hydrothermal carbonization of lignocellulosic biomass. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 10, p. 6192–6199, maio 2011.

MELO, C. M. T.; FARIA, J. V. Composition, phenolic compounds and antioxidant activity in conventional not edible parts of six vegetables. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 1, p. 93–100, 2014.

MORSHEDI, D. et al. Using protein nanofibrils to remove azo dyes from aqueous solution by the coagulation process. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 112, p. 245–254, 1 dez. 2013.

MOS, V.; TUNNELING, I.; EFFECT, F. Accepted Manuscript. **Solid-State Electronics**, n. September, 2016.

OLIVEIRA, A. P. M. et al. Use of grape pomace as a biosorbent for the removal of the Brown KROM KGT dye. **Bioresource Technology Reports**, v. 2, p. 92–99, jun. 2018.

PAN, Y. et al. Removal of azo dye in an up-flow membrane-less bioelectrochemical system integrated with bio-contact oxidation reactor. **Chemical Engineering Journal**, v. 326, p. 454–461, 15 out. 2017.

PARSHETTI, G. K.; KENT HOEKMAN, S.; BALASUBRAMANIAN, R. Chemical, structural and combustion characteristics of carbonaceous products obtained by hydrothermal carbonization of palm empty fruit bunches. **Bioresource Technology**, v. 135, p. 683–689, maio 2013.

ROMÁN, S. et al. Hydrothermal carbonization as an effective way of densifying the energy content of biomass. **Fuel Processing Technology**, v. 103, p. 78–83, nov. 2012.

SEVILLA, M.; MACIÁ-AGULLÓ, J. A.; FUERTES, A. B. Hydrothermal carbonization of biomass as a route for the sequestration of CO₂: Chemical and structural properties of the carbonized products. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 7, p. 3152–3159, jul. 2011.

SILVA, C. P. . et al. Avaliação da degradação do corante vermelho bordeaux através de processo fotoquímico. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, 13(1), 73-77, 2008.

SILVEIRA, C. et al. Iron-oxide Nanoparticles by Green Synthesis Method Using

Moringa oleifera Leaf Extract for Fluoride Removal. **Environmental Technology**, v. 3330, n. August, p. 1–40, 2017.

ZWANE, S. et al. Polyethersulfone/Chromolaena odorata (PES/CO) adsorptive membranes for removal of Congo red from water. **Journal of Water Process Engineering**, 20 set. 2017.

ADSORÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS EM SERRAGEM DE MDF (MEDIUM-DENSITY FIBERBOARD)



Silvana Fernandes Montanher¹, Larissa Bello Neves de Farias² e Mariane Dalpasquale³

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a serragem de MDF como adsorvente alternativo dos corantes têxteis vermelho Quimacryl GRL e Nylosan azul N-BLN. Os estudos de adsorção foram realizados em coluna de leito fixo usando a serragem de MDF in natura e tratada com NaOH e HCl 0,10 mol L⁻¹. Curvas de saturação foram obtidas percolando-se soluções 100 mg L⁻¹ dos corantes pela coluna preenchida com serragem, alíquotas de 25 mL eram recolhidas e a concentração de corante determinada por espectrofotometria. A remoção do corante vermelho (catiônico) foi bastante eficiente, e melhorou significativamente com o tratamento básico da serragem. A remoção do corante azul (aniônico) não foi tão eficiente mesmo com o tratamento ácido. O efeito da força iônica foi avaliado, mostrando que a remoção do corante azul é prejudicada pela presença de íons dissolvidos. Os melhores valores de pH para a adsorção foram de 1 para o corante azul e 12 para o vermelho. A dessorção dos corantes foi possível usando HCl ou NaOH 0,10 mol L⁻¹.

Palavras-chave: Resíduo industrial; Coluna de leito fixo; Adsorção.

ABSTRACT

The objective of this work was evaluate MDF sawdust as an alternative adsorbent for textile dyes red Quimacryl GRL and Nylosan blue N-BLN. Adsorption studies were performed in a fixed bed column using MDF sawdust in natura and treated with 0.10 mol L⁻¹ NaOH and HCl. Saturation curves were obtained percolating 100 mg L⁻¹ solutions of dyes in the sawdust filled column, 25 mL aliquots were collected and the remaining dye concentration determined by spectrophotometry. Removal of red dye (cationic) was quite efficient, and improved significantly with basic sawdust treatment. Removal of blue dye (anionic) was not as effective even with acid treatment. The effect of the ionic strength was evaluated, showing that removal of blue dye is impaired by the presence of dissolved ions. The best pH values for the adsorption were 1 for blue dye and 12 for red dye. Desorption of dyes was possible using 0.10 mol L⁻¹ HCl or NaOH.

Key-words: Industrial waste, Fixed bed column; Adsorption.

1. INTRODUÇÃO

O tratamento de efluentes industriais é um setor em amplo desenvolvimento

¹ Doutora em Química e Professora do curso de Licenciatura em Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) Câmpus Apucarana: <silvanafm@utfpr.edu.br>.

² Tecnóloga em Processos Químicos pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) Câmpus Apucarana: <laribello@hotmail.com>.

³ Doutora em Química e Professora do curso de Licenciatura em Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) Câmpus Apucarana: <marianed@utfpr.edu.br>.

no mundo todo, devido principalmente a fatores ambientais, mas também, mais recentemente, ao possível reaproveitamento de água e matéria prima (Rafatullah et al., 2010).

A indústria têxtil é um setor em constante expansão e grande consumidora de água e produtos químicos, portanto gera diariamente grandes quantidades de efluentes líquidos (Monteiro et al., 2017; Subramani e Thinakaran, 2017).

Os corantes têxteis são em sua grande maioria, sintéticos e possuem estrutura química complexa, o que torna a degradação dessas espécies químicas desafiadora, uma vez que são, em sua maior parte, não-biodegradáveis e estáveis a luz e calor (Rafatullah et al., 2010; Monteiro et al., 2017).

A adsorção é uma técnica muito usada no tratamento de resíduos líquidos, sendo o carvão ativo o adsorvente mais empregado devido a sua alta eficiência, no entanto, possui custo operacional elevado e outros inconvenientes como dificuldades de regeneração e separação do adsorvente (Subramani e Thinakaran, 2017). Diante disto, pesquisas visando à produção de materiais adsorventes alternativos ao carvão ativo têm sido intensificadas nas últimas décadas, principalmente envolvendo materiais de baixo custo, isto é, materiais que exigem pouco processamento, abundantes na natureza ou ainda subprodutos ou rejeitos de atividades industriais ou agrícolas. Materiais como casca de coco, casca de arroz, cascas de banana e laranja, entre outros já foram utilizados com boa eficiência na adsorção de corantes presentes em soluções aquosas (Weng, Lin e Tzeng, 2009; Gupta e Suhas, 2009).

A adsorção é um método de transferência de massa, onde se explora a capacidade de um material sólido em adsorver uma determinada substância contida em uma solução que pode ser tanto gasosa ou líquida, esse processo permite a separação de diversos componentes em uma solução. O material adsorvido é chamado de adsorvato, e o material sólido que efetuou a adsorção é o adsorvente. Como as substâncias adsorvidas concentram-se na superfície externa dos poros do adsorvente, quanto maior for a superfície de contato, maior será a eficiência da adsorção, portanto, os adsorventes geralmente são sólidos finamente pulverizados que apresentam características de grande porosidade em sua estrutura (Rafatullah et al., 2010).

O MDF (Medium-Density Fiberboard), é produzido com madeira de reflorestamento, principalmente pinheiros e eucaliptos e com 10% de uma resina ureia-formaldeído que confere resistência ao material. Sua principal utilização é na indústria moveleira, muito forte no sul do país. Grandes quantidades de resíduo de MDF são gerados anualmente, constituindo em um inconveniente para o setor. Esse resíduo normalmente é enviado para combustão ou aterros com custo para o produtor (Ferreira et al., 2015; Gomes, Azaruja e Mourão, 2016).

O objetivo deste trabalho foi estudar a adsorção de dois corantes têxteis, de propriedades químicas distintas (catiônico e aniônico), em serragem de MDF, resíduo abundante e de fácil obtenção, usando sistema de colunas de leito fixo.

2. METODOLOGIA

2.1. Corantes

Os corantes têxteis comerciais vermelho Quimacryl – GRL e Nylosan azul N-BLN foram usados sem nenhuma purificação prévia. A quantificação dos corantes foi realizada em espectrofotômetro UV-VIS da Perkin Elmer STD usando cubetas de vidro de 1 cm de caminho óptico e método da curva de calibração. Os valores de

absorvância foram obtidos em 622 nm e 531 nm para os corantes azul e vermelho, respectivamente.

2.2. Obtenção e Tratamento da Serragem de Mdf

A serragem de MDF foi coletada em uma indústria moveleira na região industrial de Araçongas – PR e foi peneirada em peneira de 450 μm para obtenção de uma granulometria mais uniforme.

A serragem foi submetida a dois tipos de tratamento químico: tratamento ácido, com HCl 0,10 mol L⁻¹ e tratamento básico, com NaOH 0,10 mol L⁻¹. Em béqueres de 250 mL foram misturados 15 g de serragem com 150 mL das soluções ácida ou básica e agitou-se por 1 hora à temperatura ambiente em agitador magnético. Em seguida as serragens foram filtradas em papel filtro qualitativo, lavadas com água destilada até pH neutro e secas em estufa à 80°C durante 4 horas.

2.3. Estudos de Adsorção

Os estudos de adsorção foram conduzidos em sistema de coluna de leito fixo usando coluna cromatográfica (1,5 cm de diâmetro interno e 20 cm de altura) com placa porosa. Para o preparo da coluna as amostras de serragem foram hidratadas com água destilada por 30 min, em seguida a serragem hidratada era percolada até completa acomodação do leito, posteriormente pérolas de vidro eram adicionadas para evitar deslocamentos de massa.

Após a montagem da coluna, soluções aquosas dos corantes têxteis foram percoladas com concentração inicial de 100 mg L⁻¹, o efluente da coluna era coletado em alíquotas de 25 mL usando proveta. A concentração dos corantes nas alíquotas coletadas era determinada em espectrofotômetro UV-VIS (Perkin Elmer SDT).

2.3.1. Efeito da Vazão

Para esse estudo foram utilizadas 0,50 g de serragem in natura. Duas colunas foram empregadas com placas de diferentes graus de porosidade de modo a obter duas vazões. Alíquotas de 25 mL das soluções dos corantes azul e vermelho foram percolados e o tempo para a percolação foi medido. Os estudos foram realizados em duplicata.

2.3.2. Efeito da Força Iônica

Foram utilizadas 0,50 g de serragem in natura e submetida ao tratamento ácido e básico. Foram preparadas soluções dos corantes (100 mg L⁻¹) usando como eletrólito o NaCl em três concentrações: 0,10; 1,0 e 2,0 mol L⁻¹. Percolou-se 25 mL destas soluções pela coluna de adsorção. Os estudos foram realizados em duplicata.

2.3.3. Efeito do pH

Para avaliar o efeito do pH da solução de corantes foram utilizadas 0,70 g de serragem *in natura* e submetida ao tratamento ácido e básico. As soluções dos corantes (100 mg L⁻¹) foram preparadas em três valores de pH, pH natural da solução aquosa de cada corante, pH 1 e pH 12 ajustados com HCl e NaOH 0,1 mol L⁻¹, respectivamente. Percolou-se 25 mL destas soluções pela coluna de adsorção. Os estudos foram realizados em duplicata.

2.3.4. Obtenção das Curvas de Saturação e Dessorção

Para a obtenção das curvas de saturação as soluções dos corantes foram percoladas recolhendo-se alíquotas de 25 mL até a total saturação do adsorvente. Uma curva de volume percolado (mL) por Cv/Ci foi traçada. Onde Cv é a concentração do corante na alíquota percolada e Ci a concentração inicial do corante (100 mg L⁻¹). A massa utilizada de serragem *in natura* e tratada foi de 2,5 g.

Após a saturação, as colunas foram percoladas com solução de HCl 0,10 mol L⁻¹, para a dessorção do corante vermelho e com solução de NaOH 0,10 mol L⁻¹ para a dessorção do corante azul. Foram recolhidas alíquotas de 25 mL dos corantes extraídos. As curvas de dessorção foram obtidas plotando-se o volume percolado da solução extratora pela concentração de corante extraído.

2.3.5. Estudo da Separação dos Corantes

Uma solução mista dos corantes azul e vermelho foi preparada de tal forma que a concentração dos dois fosse a mesma (100 mg L⁻¹). Após, a mistura foi percolada por uma coluna preenchida com 2,5 g de serragem de MDF tratada com NaOH para verificar a possibilidade de separação dos corantes e a seletividade do adsorvente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A vazão é um parâmetro muito importante na adsorção em sistema de colunas de leito fixo. Vazões muito lentas favorecem a adsorção uma vez que o tempo de contato entre o adsorvente e o adsorvato é grande, no entanto, o processo pode ser inviável devido a lentidão. De modo contrário, vazões muito rápidas não oferecem tempo suficiente para que haja a adsorção, tornando o processo ineficiente.

A Tabela 1 apresenta a porcentagem de corante removido em função da vazão da coluna. Esses valores foram obtidos usando a Equação 1. Onde Ci é a concentração inicial dos corantes e Cf é a concentração final (após a adsorção).

$$\% \text{ Remoção} = [(C_i - C_f)/C_i] \cdot 100 \quad (1)$$

Tabela 1- Efeito da vazão na eficiência de remoção dos corantes vermelho Quimacryl GLR e Nylosan azul N-BLN por serragem de MDF *in natura*

Corante	% de remoção do corante	
	Vazão = 6,5 mL min ⁻¹	Vazão = 2,0 mL min ⁻¹
Vermelho	95,2	100
Azul	72,3	88,2

Fonte: Autoria própria (2018).

Observa-se na Tabela 1 que a serragem de MDF in natura foi mais eficiente na remoção do corante vermelho (catiônico) para as duas vazões. O efeito da vazão não foi tão marcante para esse corante, mostrando que a interação entre o adsorvente e o corante é forte.

Para a remoção do corante azul (aniônico) a diferença é mais pronunciada, evidenciando uma interação mais fraca ou cinética mais lenta entre o adsorvente e o corante.

A serragem é composta basicamente de celulose, lignina e hemicelulose, polímeros naturais com presença marcante de grupos OH. Esses grupos OH possuem afinidade por cátions, como o corante vermelho (Batziás e Sidiras, 2007).

Pensando na protonação e desprotonação dos grupos funcionais da serragem, foram realizados dois tratamentos, um ácido (HCl), buscando deixar a superfície do adsorvente positiva, aumentando assim sua afinidade por espécies aniônicas, e um tratamento básico com NaOH, buscando deixar a superfície da serragem negativa, aumentando assim sua afinidade por espécies catiônicas.

É comum que sais sejam adicionados aos banhos de tingimento para melhorar a fixação dos corantes nas fibras têxteis (SALEM, 2010), por esse motivo o efeito da força iônica foi avaliado.

A Tabela 2 apresenta os resultados referentes ao tratamento da serragem e o efeito da variação da força iônica na porcentagem de corantes removidos.

Tabela 2- Efeito da força iônica na eficiência de remoção dos corante vermelho Quimacryl GLR e Nylosan azul N-BLN por serragem de MDF

Corante	Serragem de MDF	% de remoção do corante		
		NaCl 0,10 mol L ⁻¹	NaCl 1,0 mol L ⁻¹	NaCl 2,0 mol L ⁻¹
Vermelho	<i>in natura</i>	88,6	94,0	95,6
	tratado com HCl	89,4	97,0	96,8
	tratado com NaOH	99,9	99,8	99,9
Azul	<i>in natura</i>	89,2	92,0	91,6
	tratado com HCl	100	72,3	87,3
	tratado com NaOH	88,1	66,8	79,1

Fonte: Autoria própria (2018).

O tratamento da serragem com NaOH aumentou a eficiência de remoção do corante vermelho (catiônico) e mesmo o tratamento ácido não diminui a eficiência como era esperado.

Notou-se uma melhora na remoção do corante vermelho quando a força iônica aumentou, mostrando que o processo de adsorção do corante vermelho não será prejudicado pela presença de aditivos iônicos nos efluentes têxteis.

A adsorção do corante azul se mostrou mais sensível a força iônica, principalmente para as serragens tratadas. Diminuindo a eficiência quando a força iônica aumentava. Para a serragem in natura praticamente não houve diferença.

Para força iônica baixa o tratamento com HCl melhorou a adsorção do corante azul, pois a superfície positiva da serragem atrai melhor um corante aniônico.

O pH é outro parâmetro que influencia bastante o processo de adsorção, ácidos e bases podem ser adicionados aos banhos de tingimento, logo os efluentes

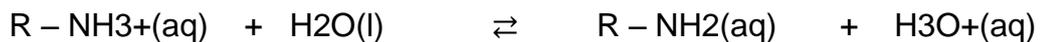
têxteis gerados podem apresentar diferentes valores de pH. A Tabela 3 apresentam o efeito do pH da solução na eficiência da remoção dos corantes vermelho e azul.

Tabela 3- Efeito do pH na eficiência de remoção do corante vermelho Quimacryl GLR e Nylosan Azul N-BLN por serragem de MDF

Corante	Serragem de MDF	% de remoção do corante		
		pH=1	pH= 5,7*	pH = 12
Vermelho	<i>in natura</i>	64,1	89,3	97,8
	tratado com HCl	86,1	99,8	98,3
	tratado com NaOH	98,1	99,8	99,0
Azul		pH=1	pH= 8,4*	pH = 12
	<i>in natura</i>	97,0	61,9	0,0
	tratado com HCl	97,5	65,5	0,0
	tratado com NaOH	97,0	22,2	0,0

*pH da solução aquosa 100 mg L⁻¹ do corante
Fonte: Autoria Própria (2018).

O pH da solução aquosa do corante vermelho é ácido (5,7) devido a hidrólise do grupo amino protonado:



A serragem tratada com NaOH é muito eficiente na remoção do corante vermelho, mesmo em valores extremos de pH. Para as serragens *in natura* e tratada com HCl os piores resultados foram obtidos em pH 1, pois tanto o corante quanto a serragem estão protonados.

O pH da solução aquosa do corante azul é básico (8,4) devido a hidrólise do grupo sulfônico desprotonado:



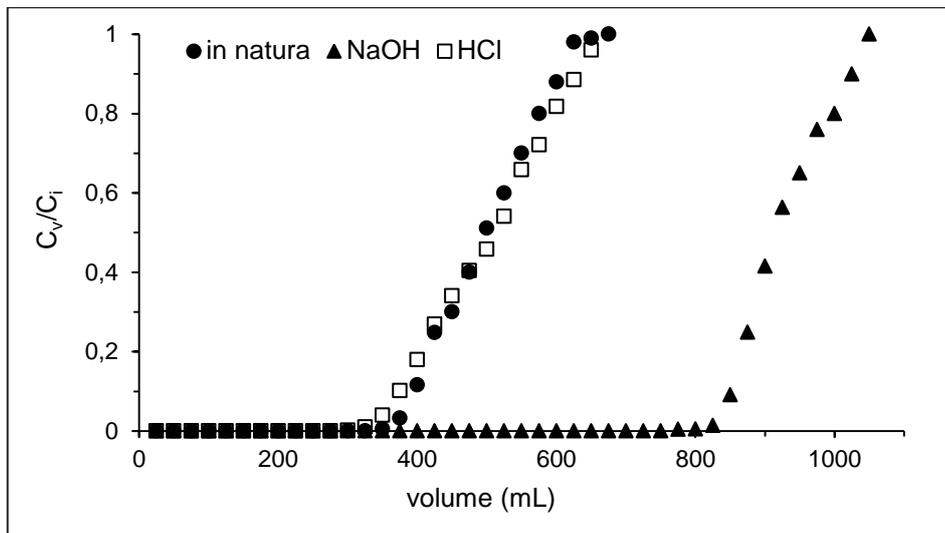
Foi observado que o pH 1 favoreceu a adsorção do corante azul, independentemente do tipo de serragem utilizado, isso era esperado já que o corante azul é ácido/aniônico e é melhor fixado em banhos de tingimento ácido. Nenhum corante foi removido em pH 12, e no 8,4 a eficiência de adsorção é muito baixa com a serragem tratada com NaOH.

Podemos concluir desse experimento que para o corante azul o pH da solução é um fator mais importante do que o tipo de tratamento da serragem.

Depois dos principais parâmetros avaliados foram obtidas as curvas de saturação, muito importantes para avaliar a eficiência de um adsorvente usando sistema de coluna de leito fixo.

A Figura 1 mostra as curvas de saturação para a adsorção do corante vermelho nos três tipos de serragem. Quando Cv/Ci for igual a 1,0 significa que houve saturação do adsorvente, ou seja, a concentração de entrada (Ci) será igual a concentração de saída (Cv). O ponto em que Cv/Ci começa a ser diferente de zero é chamado de ponto de ruptura e determina em que momento começa a aparecer coloração no efluente da coluna.

Figura 1- Curvas de saturação para a adsorção do corante vermelho Quimacryl GRL (catiônico) em serragem de MDF *in natura* e submetida a tratamentos ácido e básico

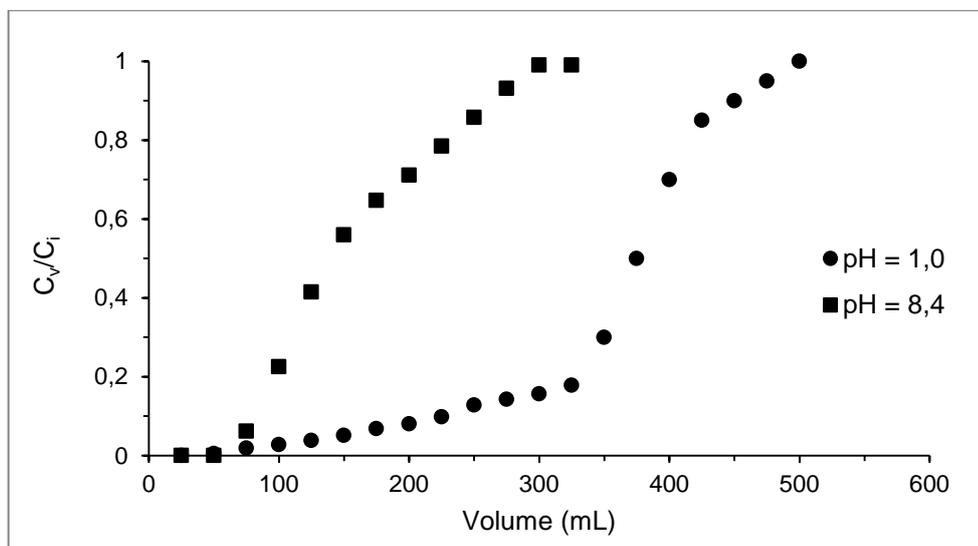


Fonte: Autoria própria (2018).

A Figura 1 mostra que a adsorção do corante vermelho na serragem *in natura* e tratada com HCl segue o mesmo comportamento, com pontos de ruptura próximos de 380 mL e ponto de saturação em 700 mL. Podemos observar de maneira clara a superioridade da adsorção do corante vermelho em serragem tratada com NaOH, onde o ponto de ruptura acontece somente em 850 mL e a saturação em 1100 mL.

Como observado anteriormente o pH é mais importante para a adsorção do corante azul do que o tratamento da serragem, portanto foram obtidas curvas de saturação para o corante azul em pH 1 e no pH natural da solução aquosa (Figura 2).

Figura 2- Curvas de saturação para a adsorção do corante Nysolan Azul N-BLN (aniônico) em serragem de MDF *in natura*



Fonte: Autoria própria (2018).

A ruptura e a saturação do corante azul acontecem bem antes que para o corante vermelho mostrando uma interação fraca do corante com o adsorvente.

A adsorção em pH 1 é bem mais eficiente pois os pontos de ruptura e saturação são obtidos bem depois do que em pH 8,4. Portanto um efluente com esse corante só será tratado com eficiência pela serragem de MDF se o pH for fortemente ácido.

A capacidade de adsorção de um adsorvente presente em coluna, q (mg g^{-1}), expressa a quantidade máxima de corante que pode ser adsorvido por grama de adsorvente e pode ser obtida pela Equação 2, na qual C_i é a concentração inicial do corante (mg L^{-1}), C_v é a concentração do corante na saída da coluna (mg L^{-1}), Q é vazão (L min^{-1}), t é o tempo (min) e m é a massa de adsorvente (g) (Rafatullah et al., 2010).

$$q = \frac{C_i \cdot Q}{m} \int_0^t \left(1 - \frac{C_v}{C_i}\right) dt \quad (2)$$

Para a determinação de q utilizou-se o software Origin 8. Um gráfico de tempo (min) versus $(1 - C_v/C_i)$ foi plotado e a área sob o gráfico determinada. Essa área foi então multiplicada pelo fator $C_i Q/m$.

A Tabela 4 apresenta os valores de q obtidos de todas as curvas de saturação (figuras 1 e 2).

Tabela 4- Capacidade de adsorção dos corantes vermelho Quimacryl GRL e Nylosan azul N-BLN em serragem de MDF

Corante	Serragem de MDF	pH	Capacidade máxima de adsorção, q , (mg g^{-1})
Vermelho	<i>in natura</i>		19,9
	tratado com HCl	5,7	20,1
	tratado com NaOH		37,1
Azul	<i>in natura</i>	8,4	6,3
		1,0	10,2

Fonte: Autoria Própria (2018).

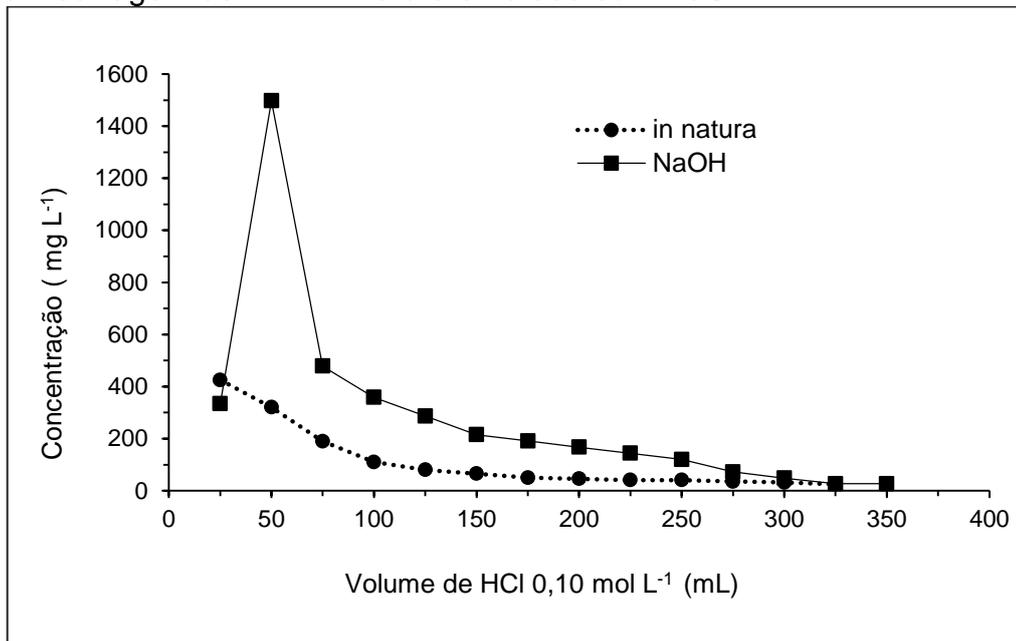
A capacidade máxima de adsorção é útil para redimensionar o sistema para escala industrial. Uma vez que temos a proporção de corante e adsorvente. Os valores obtidos refletem o observado nas curvas de saturação.

Uma grande questão levantada sobre o processo de adsorção é: O que fazer com o adsorvente saturado?

Pensando nisso realizou-se os estudos de dessorção, na tentativa de recuperar os corantes e possivelmente reutilizar o adsorvente.

As colunas saturadas com corante vermelho foram eluidas com solução de HCl 0,10 mol L⁻¹, pois como o corante vermelho é catiônico haveria uma troca iônica com os íons H₃O⁺. A Figura 3 mostra as curvas de dessorção para a serragem *in natura* e tratada com NaOH saturadas de corante vermelho.

Figura 3- Curvas de dessorção do corante vermelho Quimacryl GRL (catiônico) retido em serragem de MDF in natura e tratada com NaOH.

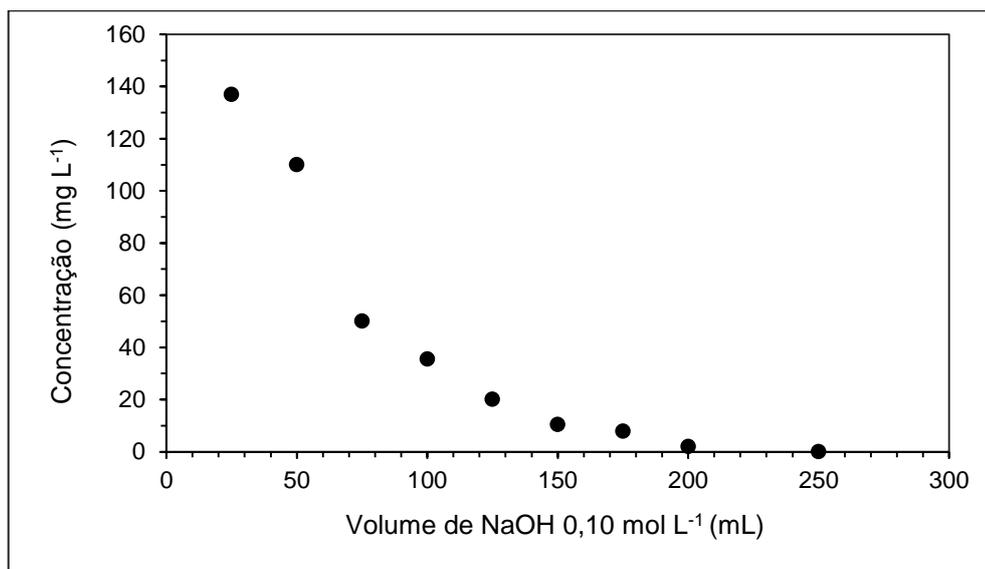


Fonte: Aatoria Própria (2018).

A dessorção foi possível nos dois casos, sendo a maior parte do corante recuperado com 100 mL de ácido, para a serragem in natura e com 200 mL no caso da serragem tratada com NaOH. Portanto, é possível a recuperação dos corantes por dessorção.

A Figura 4 mostra a dessorção do corante azul, que foi realizada com NaOH pois o corante azul é aniônico, logo haveria a troca iônica com os íons OH⁻.

Figura 4- Curva de dessorção do corante Nylosan azul N-BLN (pH =8,4) retido em serragem de MDF in natura



Fonte: Aatoria Própria (2018).

Todo corante azul foi removido da serragem in natura mostrando que a dessorção é totalmente viável para esse corante.

Um teste qualitativo foi realizado pensando em outra utilização para a serragem de MDF, a de separar corantes de uma solução, como uma coluna cromatográfica. Para isso uma mistura dos dois corantes foi preparada obtendo-se uma coloração violeta. Quando essa mistura violeta foi percolada por uma coluna de serragem in natura, observou-se que o corante azul era eluído primeiro sendo possível a separação dos dois corantes, isso foi possível porque a afinidade da serragem pelo corante vermelho é bem maior do que para o corante azul no pH original das soluções aquosas.

4. CONCLUSÃO

Concluiu-se que o corante vermelho (catiônico) tem maior interação com a serragem de MDF que o corante azul (aniônico). A serragem tratada com NaOH apresentou um aumento de quase 50% na capacidade máxima de adsorção, se comparada com a serragem in natura, e diferentemente do esperado, o tratamento ácido não diminuiu a eficiência da adsorção do corante vermelho.

A adsorção do corante azul sofreu maior influência do pH da solução do que do tratamento da serragem.

A serragem de MDF é um adsorvente em potencial para efluentes têxteis contendo corantes aniônicos e catiônicos desde que as condições de pH sejam apropriadas.

5. AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem a empresa M. A. Sorprezo & Cia Ltda – Me de Arapongas –PR pela doação da serragem de MDF e à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) Câmpus Apucarana.

REFERÊNCIAS

BATZIAS, F.A.; SIDIRAS, D.K. Simulation of dye adsorption by beech sawdust as affected by pH. **Journal of Hazardous Materials**, v. 141, 2007.

FERREIRA, S.D.; ALTAFINI, C.R.; PERONDI, D.; GODINHO, M. Pyrolysis of Medium Density Fiberboard (MDF) wastes in a screw reactor. **Energy Conversion and Management**, v. 92, 2015.

GOMES, J.A.F.L. AZARUJA, B.A. MOURÃO, P.A.M. From MDF and PB wastes to adsorbents for the removal of pollutants. **Applied Surface Science**. v. 380, 2016.

GUPTA, V.K; SUHAS. Application of low-cost adsorbents for dye removal – A review. **Journal of Environmental Management**. v. 90, 2009.

MONTEIRO, M.S.; FARIAS, R.F; CHAVES, J.A.P.; SIRLANE A.; SANTANA, S.A.; SILVA, H.A.S.; BEZERRA, C.W.B. Wood (*Bagassa guianensis* Aubl) and green coconut mesocarp (*cocos nucifera*) residues as textile dye removers (Remazol Red

and Remazol Brilliant Violet). **Journal of Environmental Management**, v. 204, 2017.

RAFATULLAH, M.; SULAIMAN, O.; HASHIM, R.; AHMAD, A. Adsorption of methylene blue on low-cost adsorbents: A review. **Journal of Hazardous Materials**. v.177, 2010.

SALEM, V. **Tingimento Têxtil: Fibras conceitos e tecnologias**. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2010.

SUBRAMANI,S.E; THINAKARAN, N. Isotherm, kinetic and thermodynamic studies on the adsorption behaviour of textile dyes onto chitosan. **Process Safety and Environmental Protection**. v. 106, 2017.

WENG, C.H.; LIN, Y.T; TZENG, T.W. Removal of methylene blue from aqueous solution by adsorption onto pineapple leaf powder. **Journal of Hazardous Materials**. v. 170, 2009.

ADSORÇÃO DE DICLOFENACO DE SÓDIO EM MEIO AQUOSO EM NANOFOLHAS DE ÓXIDO DE GRAFENO



Ana Carolina Sestito Guerra¹; Murilo Barbosa de Andrade²; Gessica Wernke³; Ana Carolina de Lima Barizão⁴; Rosângela Bergamasco⁵.

RESUMO

Neste trabalho a adsorção de diclofenaco de sódio (DCF) em nanofolhas de óxido de grafeno (GO) foi estudada por se tratar um dos medicamentos mais prescritos e um problema ambiental. O óxido de grafeno foi sintetizado pelo método de Hummers modificado, caracterizado morfolologicamente e foram realizados ensaios adsorptivos em batelada. Foram avaliados a influência do tempo, pH e dose de adsorvente e a cinética de adsorção foi investigada a 25°C. O modelo de pseudo-segunda ordem foi o que melhor representou a cinética de adsorção. As isotermas de adsorção também foram desenvolvidas em temperaturas variando entre 25 e 45 °C e concentrações que variaram de 5 a 50 mg L⁻¹ de contaminante. O modelo de Langmuir foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais e foi determinado que a capacidade máxima de adsorção do DCF a 25 °C foi 128,74 mg g⁻¹. O adsorvente proposto se mostrou então como um adsorvente promissor para aplicação na purificação de água.

Palavras-chave: adsorção; óxido de grafeno; diclofenaco de sódio.

ABSTRACT

In this work the adsorption of diclofenac sodium (DCF) on graphene oxide (GO) nanosheets was studied because it is one of the most prescribed drugs and an environmental problem. Graphene oxide was synthesized by the modified Hummers method and characterized morphologically for the adsorption of the DCF in the synthesized adsorbent and carried out adsorptive batch tests. The influence of time, pH and adsorbent dose in the adsorption process was evaluated and adsorption kinetics were investigated at 25 °C. The pseudo-second order model was the one that best represented the adsorption kinetics. Adsorption isotherms were also developed at temperatures ranging from 25 to 45 °C and concentrations ranging from 5 to 50 mg L⁻¹ of contaminant. The Langmuir model was the best fit for the experimental data and it was determined that the maximum adsorption capacity of the DCF at 25 °C was 128.74 mg g⁻¹. The proposed adsorbent was then shown as a promising adsorbent for application in water purification.

Key-words: adsorption; graphene oxide; diclofenac sodium.

¹ Mestranda do Programa de pós-graduação em Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá (UEM) – e-mail: <anacarolina_guerra@hotmail.com>.

² Doutorando do Programa de pós-graduação em Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá (UEM) – e-mail: <mubandrade@hotmail.com>.

³ Doutoranda do Programa de pós-graduação em Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá (UEM) – e-mail: <gessica.wernke@hotmail.com>.

⁴ Mestranda do Programa de pós-graduação em Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá (UEM) – e-mail: <carolina.barizao@gmail.com>.

⁵ Doutora em Engenharia Química e professora do Departamento de Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá (UEM) – e-mail: <ro.bergamasco@hotmail.com>.

1. INTRODUÇÃO

Os fármacos são considerados uma classe de poluentes ambientais bastante significativos nos dias de hoje. Destes poluentes, as drogas anti-inflamatórias não-esteroides são os fármacos mais utilizados por tratarem doenças em humanos e animais em termos de ação analgésica, anti-inflamatória e antipirética (Rodríguez-Álvarez et al., 2013).

A presença de fármacos no ambiente e os efeitos adversos que eles podem causar são fatores cada vez mais alarmantes. Como são moléculas polares, são normalmente solúveis em água, desta forma vários medicamentos muito utilizados têm sido cada vez mais detectados no meio aquático. Embora os valores encontrados no ambiente sejam baixos (ng L⁻¹) a exposição a longo prazo de espécimes aquáticos e terrestres pode provocar efeitos adversos nos ecossistemas em questão (Rakić et al., 2015).

Devido aos efeitos ambientais adversos que os fármacos podem causar estes são classificados como contaminantes emergentes (Daughton, 2004), pois vem surgindo cada vez mais o interesse dos cientistas e da comunidade na avaliação dos riscos que estes podem causar ao meio.

As principais categorias de fármacos encontradas nas águas são os antibióticos, analgésicos, relaxantes musculares e hormônios (Ahmed, 2017). Estes produtos farmacêuticos aparecem em efluentes hospitalares, de laboratórios e indústrias, efluentes domésticos e aterros sanitários (Rakić et al., 2015; Lu et al., 2016) e por possuírem características como alta polaridade, hidrofobicidade e estabilidade, permanecem nos corpos hídricos (Bhadra et al., 2016; Ahmed, 2017).

Apesar de sua baixa concentração em águas residuais, o lançamento destes compostos no meio ambiente tem causado um problema ambiental (Barra Caracciolo et al., 2015; Rakić et al., 2015) uma vez que estes compostos são tratados de forma ineficiente pelos processos tradicionais de tratamento de efluente e água (Evgenidou et al., 2015), conseqüentemente, os produtos farmacêuticos são encontrados não apenas em efluentes de esgoto (Aquino et al., 2013), mas também em águas superficiais e subterrâneas (Corcoran et al., 2010), e em águas potáveis (Webb et al., 2003).

Portanto, procedimentos de tratamento complementares, como filtração por membranas, osmose reversa, adsorção, fotodegradação, processos de oxidação avançados, entre outras técnicas são recomendadas para uso em complementação aos métodos tradicionais (Bhadra et al., 2016). No entanto, as técnicas mencionadas não são muito satisfatórias devido à várias desvantagens como o custo, a dificuldade de aplicação e até a produção de subprodutos tóxicos residuais. Assim sendo, a adsorção se aplica como uma técnica atraente por ser simples, de baixo custo e com excelente eficiência na remoção de fármacos (Vona et al., 2015).

Processos de adsorção são amplamente aplicados para remover poluentes orgânicos de meios aquosos, incluindo água potável, águas residuais, águas subterrâneas e superficiais. Diversos adsorventes, como materiais à base de carbono e resinas sintéticas, têm sido investigados para adsorção de compostos farmacêuticos (Yuan et al., 2013) e são os mais utilizados para remover micro poluentes orgânicos da água devido ao seu bom desempenho na fase aquosa que se dá em função da porosidade, hidrofobicidade e dos grupos funcionais presentes na superfície do adsorvente (Bhadra et al., 2017).

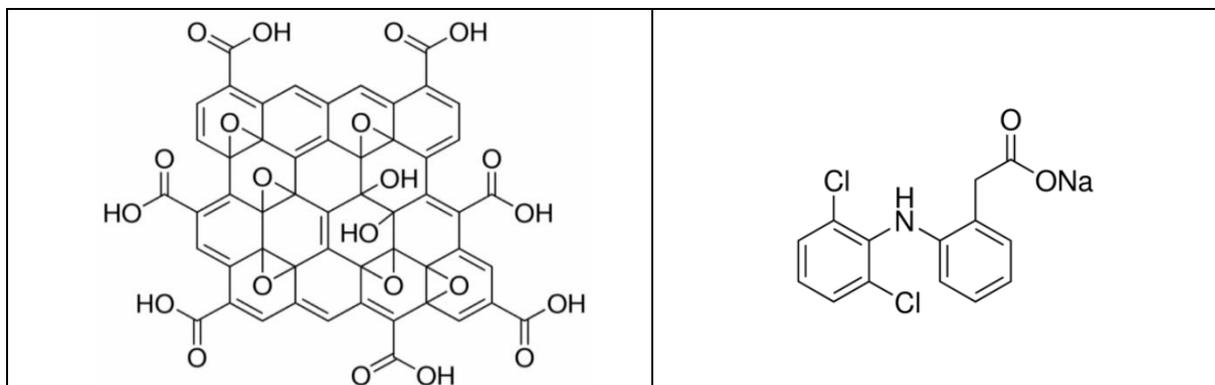
Materiais à base de carbono têm atraído gradualmente a atenção no campo da tecnologia de tratamento de água devido a sua abundância e elevada área superficial (Vu et al., 2017). Um material que, desde a descoberta, vem ocupando

posição de destaque internacionalmente devido as suas promissoras aplicações é o grafeno (Allen et al., 2009). Suas excelentes propriedades químicas, mecânicas, ópticas e eletrônicas tem atraído grande interesse de pesquisa para suas potenciais aplicações (Geim, 2009) e motivado grandes esforços para síntese, caracterização e obtenção de materiais de alto rendimento derivados de grafeno (Allen et al., 2009).

O óxido de grafeno (GO) (Figura 01 (a)) possui uma estrutura bidimensional (2D) de espessura atômica única e excelentes propriedades mecânicas, térmicas e elétricas (Tekler et al., 1997). GO tem uma estrutura em camadas com grupos hidrófilos polares em sua superfície, tais como -OH, -COOH (Lingamdinne et al., 2016). Também tem sido usado para a erradicação de bactérias (Park et al., 2010). Os grupos funcionais da superfície do GO podem ser utilizados como locais de ancoragem para a ligação com contaminantes, tornando-se um material com potencial e um adsorvente ideal (Wang e Chen, 2015).

O diclofenaco de sódio ou diclofenaco sódico (DCF) (Figura 01 (b)) é um fármaco pertencente à família dos medicamentos anti-inflamatórios não esteroides comumente utilizado em atendimento ambulatorial, é amplamente utilizado para o alívio da dor e inflamação e normalmente prescrito como analgésico e utilizado para tratar distúrbios inflamatórios, reduzir dores causadas pela artrite, enxaqueca, gota, dismenorrea, entre outras doenças (Sotelo et al., 2014; Hiew et al., 2018). E no tratamento destas enfermidades em torno de 1500 t de diclofenaco de sódio são consumidas anualmente no mundo todo.

Figura 01 – Esquema da estrutura molecular do (a) GO (b) DCF.



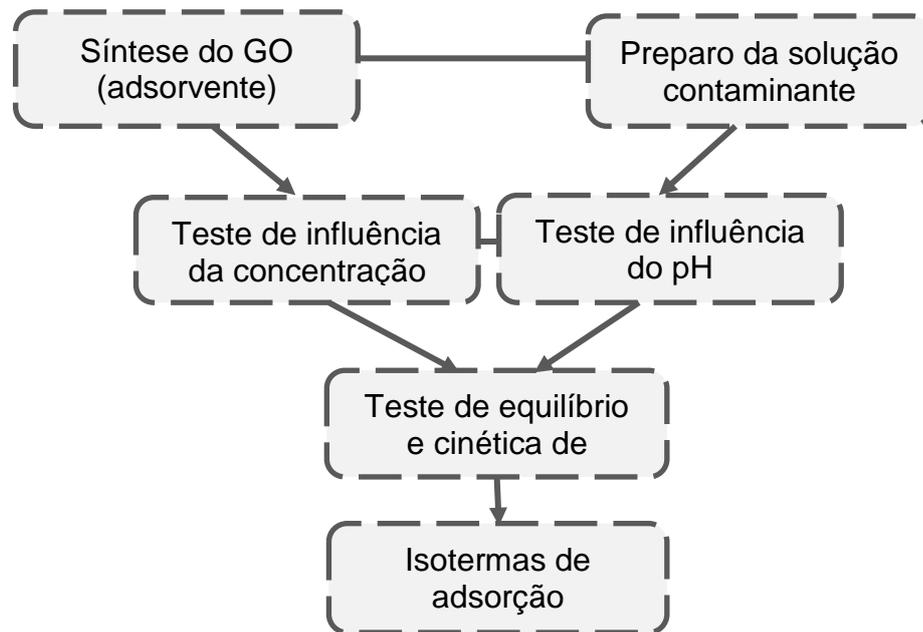
Fonte: (Sotelo *et al.*, 2014; Lingamdinne *et al.*, 2016).

Tendo em vista os efeitos que o DCF pode causar ao meio ambiente e o potencial de aplicação do GO para remoção de fármacos objetiva-se aplicar o GO para a avaliar o potencial adsorptivo do mesmo na remoção de DCF de soluções aquosas sintéticas, além de estudar o processo do ponto de vista cinético e isotérmico otimizando parâmetros como massa de adsorvente e pH da solução.

2. METODOLOGIA

O desenvolvimento do estudo e a avaliação dos resultados foram realizados como apresentado na Figura 02.

Figura 02 – Esquema do desenvolvimento experimental do trabalho.



Fonte: Autor.

Inicialmente realizou-se a síntese do GO, utilizado como material adsorvente, e depois foi avaliado seu potencial para a adsorção do fármaco objeto de estudo, após procedeu-se com a caracterização do material sintetizado. Os ensaios de adsorção foram realizados utilizando uma solução aquosa sintética de DCF de grau analítico (>99,8% pureza) utilizado como recebido. As soluções estoque e as diluições aquosas foram armazenadas em frascos âmbar para evitar a degradação.

Em seguida foi avaliada a capacidade de adsorção do contaminante e, objetivando otimizar o processo, foi realizado o estudo da variação dos parâmetros iniciais de teste de massa e pH inicialmente utilizados e testes cinéticos e isotérmicos ao final, cada uma das etapas é descrita a seguir.

2.1 Produção do Óxido de Grafeno

Existem várias técnicas de produção do grafeno, a mais comum é a técnica baseada no Método de Hummers modificado (Hummers e Offeman, 1958; Kovtyukhova et al., 1999) que foi a metodologia selecionada. Nela, a síntese é desenvolvida em duas etapas, a primeira de pré-oxidação do grafite e a segunda, oxidação do material pré-oxidado a óxido de grafeno.

2.2 Caracterização do Adsorvente

O material adsorvente foi caracterizado quanto à sua característica morfológica utilizando as técnicas de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e o Microscopia Eletrônica de Transmissão (MET) nos equipamentos disponíveis no Complexo de Centrais de Apoio à Pesquisa (COMCAP) da Universidade Estadual de Maringá (UEM).

2.2.1 MEV

Para a análise de MEV as amostras foram coladas com fita de carbono de

dupla face sobre um suporte de alumínio, recobertos com uma fina camada de ouro e visualizados em um microscópio eletrônico de varredura Quanta 250 (FEI) a uma tensão de aceleração de 15 kV.

2.2.2 MET

Para o MET as amostras foram submetidas a análise no microscópio JEOL JEM-1400 de 120 kV. As amostras foram depositadas em porta amostras de Cu recobertos com filme de carbono (CF200-Cu, EMS).

2.3 Processo de Adsorção e Condições Ótimas de Operação

Experimentos de adsorção em batelada foram realizados para explorar o efeito dos parâmetros de adsorção concentração de adsorvente e pH da solução. Foram preparadas soluções estoque contendo 10 mg L⁻¹ do contaminante que foram posteriormente adicionadas a recipientes que mantinham a concentração e temperatura constantes. O pH da solução foi ajustado utilizando NaOH 0,1 M e HCl 0,1 M.

A solução foi agitada continuamente em agitador orbital com controle de temperatura por um período de tempo, depois da conclusão dos intervalos predeterminados; a solução foi filtrada imediatamente em papel filtro (papel filtro quantitativo Whatman®, Grau 42 2,5 µm) para coletar o sobrenadante. As concentrações residuais de DCF na solução aquosa foram então determinadas em espectrofotômetro. A porcentagem adsorvida pelo papel filtro foi inferior a 1 %. A capacidade de adsorção dos contaminantes em solução foi calculada usando a Equação 01.

$$q_t = \frac{C_0 - C_t}{m} V \quad (01)$$

Onde C₀ é a concentração inicial em (mg L⁻¹) e C_t a concentração final após um certo período de tempo (mg L⁻¹).

Vale ressaltar que cada experimento foi realizado em triplicata e os valores reportados são a média das três medidas. Além disso, a adsorção do fármaco pelo papel filtro foi determinada pela execução de um experimento em branco sem os contaminantes e a adsorção se foi considerada insignificante (<1%).

2.4 Método de Análise para Quantificação do Contaminante

2.4.1 Espectrofotômetro de Uv-Vis

Para quantificação do DCF o método espectrofotométrico foi selecionado devido à sua sensibilidade, simplicidade e pouco tempo consumido para análise. Todo o procedimento foi aplicado da seguinte forma: uma curva de calibração entre 1 e 100 mg L⁻¹ foi construída preparando as soluções padrão em 0,1 M de HCl e os dados de absorbância foram registrados em 276 nm com um espectrofotômetro UV-VIS (HACH DR 5000) usando uma célula de quartzo com 1 cm de caminho óptico.

2.5 Teste Cinético de Adsorção

A cinética de adsorção foi estudada para identificar a taxa de adsorção e o mecanismo. Experiências cinéticas foram realizadas misturando 0,25 g L⁻¹ de nanofolhas de grafeno com a solução contaminante mantidos pH natural da solução e temperatura de 25 °C, constantes. As amostras foram agitadas e separadas em

tempos predeterminados de 1, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180, 240, 300 e 360 min, filtradas e as concentrações residuais de DCF foram medidas e as capacidades de adsorção foram calculadas de acordo com a Equação 01.

Os modelos de pseudo-primeira ordem (Lagergren, 1898) (Equação 02) e pseudo-segunda ordem (Ho e Mckay, 1998) (Equação 03) foram ajustados aos dados e as equações estão apresentadas a seguir:

$$q_t = - \exp(-K_1 \cdot t) \cdot q_e + q_e \quad (02)$$

$$q_t = \frac{k_2 \cdot q_e^2}{1 + k_2 \cdot q_e \cdot t} \quad (03)$$

Onde q_t e q_e são as capacidades de adsorção de dipirona no tempo t (min) e no equilíbrio (mg g^{-1}), t é o tempo (min), k_1 (min^{-1}) é a constante da taxa de adsorção de pseudo-primeira ordem e k_2 ($\text{g mg}^{-1} \text{min}^{-1}$) é a constante da taxa de adsorção de pseudo-segunda ordem.

2.6 Estudo das Isotermas de Adsorção

As isotermas de equilíbrio foram obtidas realizando ensaios a 25 °C, 35 °C e 45 °C. Os ensaios foram conduzidos variando a concentração de DCF com pH natural da solução e concentração de adsorvente de 0,25 g L⁻¹ durante 6 h.

Os modelos de Langmuir (Langmuir, 1916), Freundlich (Freundlich, 1906) e Temkin (Temkin e Pyzhev, 1940) foram ajustados aos dados experimentais. As Equações 04, 05 e 06 são referentes aos modelos, respectivamente.

$$q_e = \frac{q_m \cdot k_L \cdot C_e}{(1 + k_L \cdot C_e)} \quad (04)$$

Onde q_e (mg g^{-1}) é a capacidade de adsorção de dipirona no equilíbrio, K_L (mg g^{-1}) é a constante de equilíbrio de adsorção de Langmuir; C_e é a concentração no equilíbrio na fase líquida (mg L^{-1}) e q_m é um parâmetro de Langmuir que representa a máxima capacidade de cobertura da monocamada (mg g^{-1}).

$$q_e = K_F \cdot C_e^{\frac{1}{n}} \quad (05)$$

Onde q_e (mg g^{-1}) é a capacidade de adsorção de dipirona no equilíbrio, C_e é a concentração no equilíbrio na fase líquida (mg L^{-1}), n e K_F ($(\text{mg g}^{-1}) (\text{L mg}^{-1})^{1/n}$) são constantes de Freundlich que representam a intensidade e a capacidade de adsorção, respectivamente.

$$q_e = a_T (\ln K_T C_e) \quad (06)$$

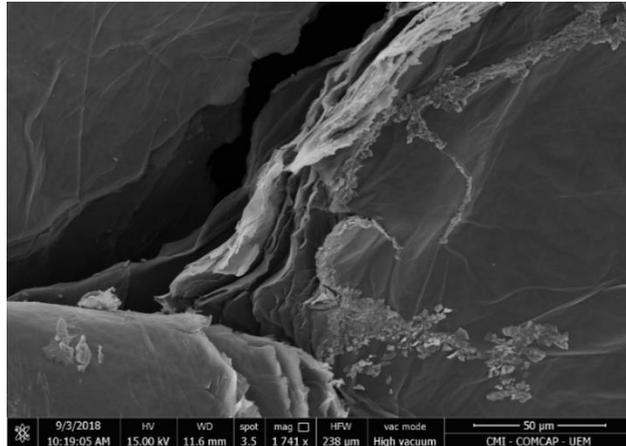
Onde q_e (mg g^{-1}) é a capacidade de adsorção de dipirona no equilíbrio, a_T é uma constante e está relacionada com o calor de adsorção, K_T é a constante de ligação no equilíbrio (L mg^{-1}) correspondendo a máxima energia de ligação e C_e é a concentração no equilíbrio na fase líquida (mg L^{-1}).

3. DESENVOLVIMENTO

3.1 Caracterizações

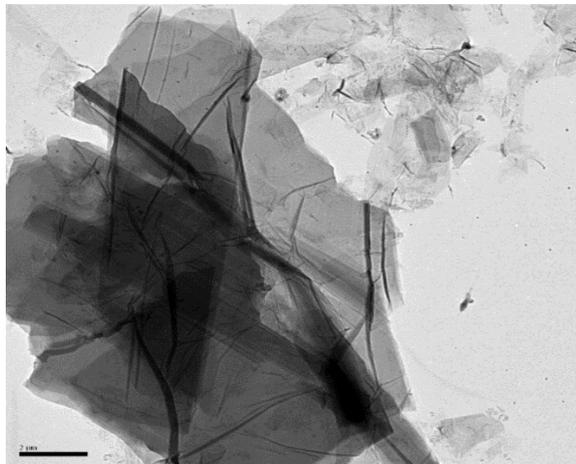
Para avaliar a morfologia do material adsorvente foram realizadas análises de MEV e MET que estão apresentadas na Figura 03 e 04 respectivamente.

Figura 03 – Micrografia tipo MEV do adsorvente GO.



Fonte: Autor.

Figura 04 – Mirografia tipo MET do adsorvente GO.



Fonte: Autor.

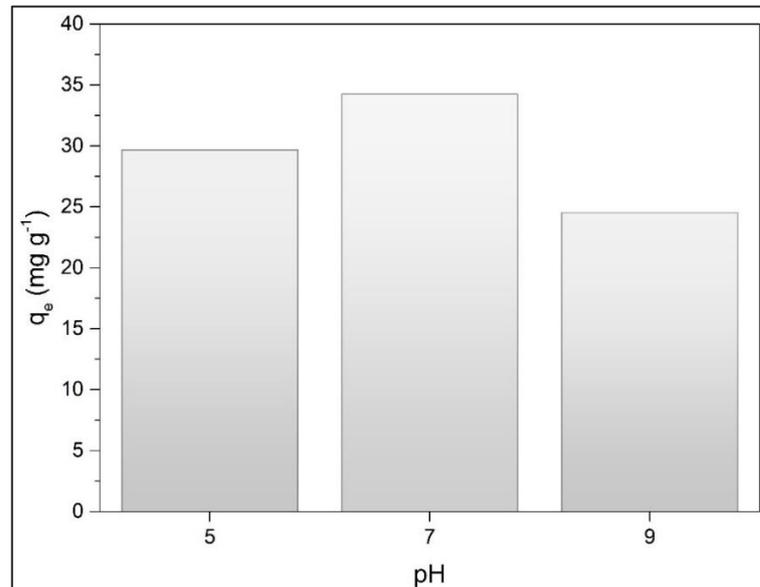
Na figura 03 pode-se observar a microscopia do adsorvente sintetizado a 50 µm. Nela pode-se perceber que o óxido de grafeno sintetizado apresenta-se com uma estrutura bastante esfoliada, com abertura entre as camadas o que permitiu a oxidação do material. Na Figura 04 observa-se a morfologia típica do óxido de grafeno, com folhas transparentes, rugosas e com muitas dobras e os tons de cinza, mais claros e mais escuros, evidenciam a sobreposição das camadas. As microscopias atestam que o processo de esfoliação química aplicado foi eficiente e gerou um adsorvente com características semelhantes às descritas por Santos *et al.* (2017).

3.2 Influência da Concentração e Ph

Foi realizada uma análise de massa e pH de adsorvente a fim de otimizar o processo de adsorção. Os ensaios de influência do pH foram investigados nos pHs

5, 7 e 9 e os resultados evidenciaram que o ajuste do pH não exerce influência significativa no processo adsorptivo com capacidades de adsorção de 29,66, 34,24 e 24,52 mg g⁻¹, respectivamente, como é possível observar na Figura 05.

Figura 05 – Avaliação do efeito do pH na adsorção de DCF em GO.

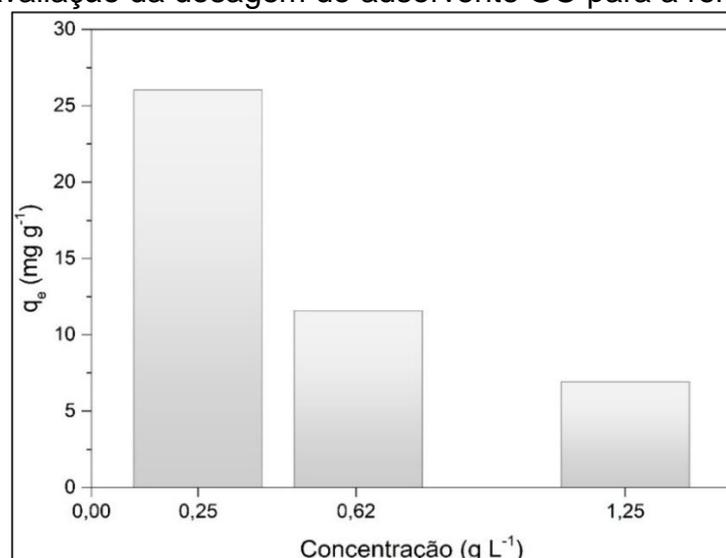


Fonte: Autor.

Entre os pHs avaliados o melhor resultado obtido foi em pH 7 e, uma vez que a variação das capacidades de adsorção não apresentaram diferença que justificasse o consumo de reagentes para a correção do pH, o pH utilizado no trabalho foi o natural da solução (6,2) que muito se aproxima do melhor resultado encontrado para a avaliação do efeito do pH encontrado em 7.

Em relação à concentração de adsorvente aplicada, foram investigadas as concentrações de 0,25, 0,625 e 1,25 g L⁻¹ e o resultado é apresentado na Figura 06. Os testes resultaram em capacidades de adsorção de 26,04, 11,58 e 6,93 mg g⁻¹ com porcentagens de remoção de 63,82, 70,93 e 84,95%, respectivamente.

Figura 06 – Avaliação da dosagem do adsorvente GO para a remoção de DCF.



Fonte: Autor.

A partir dos resultados obtidos e, visando obter a maior capacidade de adsorção utilizando a menor massa de adsorvente possível, optou-se por aplicar a concentração de 0,25 g L⁻¹ de adsorvente nos demais ensaios de adsorção.

3.3 Teste de Equilíbrio e Cinética e Adsorção

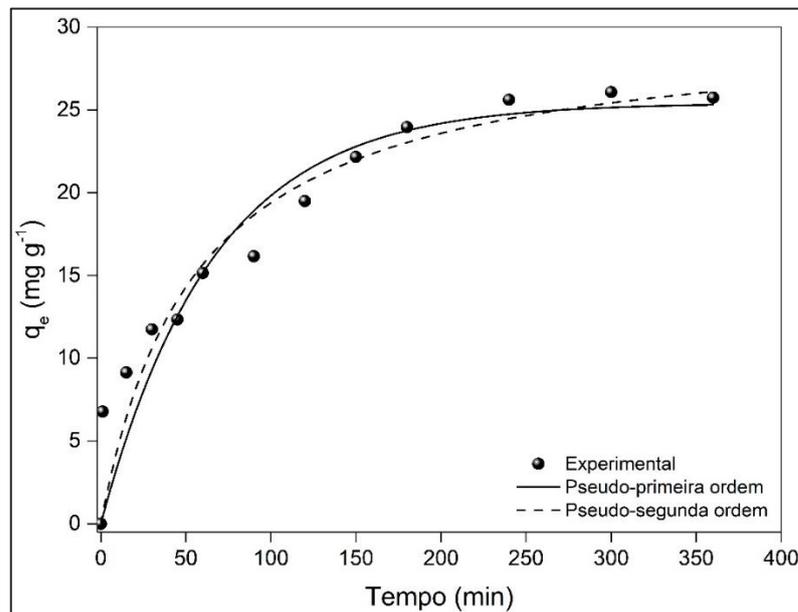
Os testes de cinética de equilíbrio foram conduzidos de forma a expressar as características da adsorção de DCF no GO e os dados experimentais foram avaliados usando os modelos cinéticos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem. Os parâmetros correspondentes aos ajustes estão apresentados na Tabela 01 e os ajustes dos modelos aos dados experimentais são apresentados na Figura 07.

Tabela 01 – Parâmetros cinéticos.

Experimental		Pseudo-primeira ordem		Pseudo-segunda ordem
		K_1 (g mg ⁻¹ min ⁻¹)	0,015	K_2 (g mg ⁻¹ min ⁻¹)
q_t (mg g ⁻¹)	25,74	q_e calc (mg g ⁻¹)	25,42	q_e calc (mg g ⁻¹)
		R^2	0,90	R^2
				0,92

Fonte: Autor.

Figura 07 – Cinética de adsorção de DCF em GO a 25 °C.

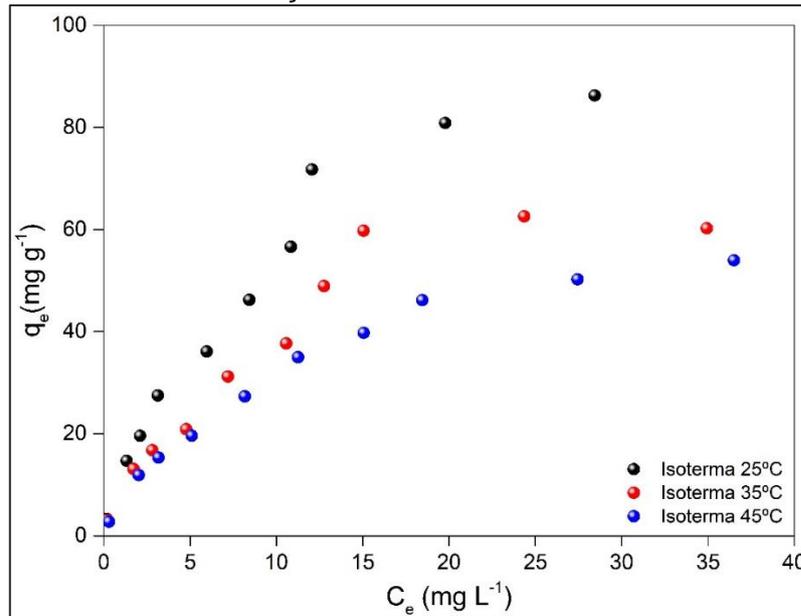


Fonte: Autor.

O modelo cinético de pseudo-segunda ordem foi o que apresentou melhor ajuste aos dados experimentais quando comparado ao modelo de pseudo-primeira ordem, com um coeficiente de correlação (R^2) igual a 0,92. Sendo assim, o modelo de pseudo-segunda ordem foi o mais apropriado para descrever a cinética apresentada, evidenciando que o mecanismo de quimiossorção apresenta participação majoritária na adsorção de DCF em GO. Bhadra et al. (2017) utilizando um material derivado de carbono para a adsorção de DCF obtiveram resultados semelhantes assim como Jiang et al. (2015) utilizando duas resinas de troca iônica para adsorção de DCF.

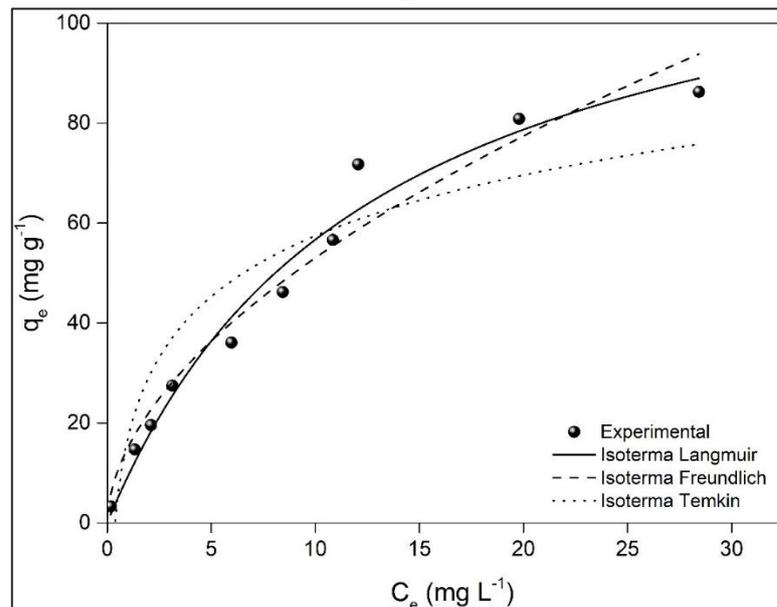
A fim de avaliar a influência da temperatura no processo de adsorção os dados experimentais foram analisados segundo os modelos de Langmuir, Freundlich e Temkin. A Figura 08 apresenta as isotermas de adsorção para cada uma das temperaturas testadas e mostra que a capacidade de adsorção diminui com o aumento de temperatura, sugerindo que a natureza do processo adsorptivo é exotérmica. Por sua vez, a Figura 09 exemplifica o ajuste dos modelos na isoterma de adsorção de 25 °C e os parâmetros isotérmicos para esta e as outras temperaturas trabalhadas estão apresentados na Tabela 02.

Figura 08 – Isotermas de adsorção de DCF em GO em diferentes temperaturas.



Fonte: Autor.

Figura 09 – Ajuste dos modelos isotérmicos para os dados de adsorção de DCF em GO a 25 °C.



Fonte: Autor.

Tabela 02 – Parâmetros dos modelos de Langmuir, Freundlich e Temkin para as temperaturas de trabalho.

Temperatura	25 °C	35°C	45°C
Langmuir			
q_{eq} (mg g ⁻¹)	128,74	88,28	73,75
K_L	0,079	0,086	0,079
R^2	0,974	0,946	0,993
Freundlich			
K_F	15,10	12,30	9,605
1/n	0,546	0,490	0,500
R^2	0,957	0,896	0,970
Temkin			
a_T	17,54	13,71	11,70
K_T	2,644	2,170	1,901
R^2	0,829	0,829	0,895

Fonte: Autor.

Os resultados apontam para uma adsorção favorável do DCF no GO com tendência a um processo exotérmico uma vez que os resultados mais favoráveis são observados à temperaturas mais baixas (25 °C) como pode-se perceber na Figura 08. A adsorção do DCF também foi melhor descrita pelo modelo de Langmuir de acordo com os valores do coeficiente de correlação (R^2) em todas as temperaturas estudadas com capacidade máxima de adsorção no equilíbrio (q_{eq}) de 128,74 mg g⁻¹, como pode-se observar na Tabela 02. Jiang et al. (2015) e Bhadra et al. (2017) também encontraram resultados semelhantes quando se trata da adsorção de DCF.

Sendo assim pode-se dizer que trata-se de um processo de adsorção homogêneo em moncamada. O modelo de Langmuir assume que o adsorvente tem um número limitado de sítios para adsorção e as energias de adsorção são iguais e sem quaisquer interações entre as moléculas sugerindo uma adsorção característica de quimiossorção (Wu et al., 2013; Zhang et al., 2018).

4. CONCLUSÃO

A utilização de nanofolhas de óxido de grafeno na adsorção de diclofenaco de sódio de soluções aquosas foi investigada. Através das análises morfológicas de caracterização do óxido de grafeno foi possível demonstrar que o adsorvente sintetizado de fato apresentava as características típicas do óxido de grafeno. Os dados cinéticos na temperatura de 25 °C obtiveram melhor ajuste ao modelo de pseudo-segunda ordem, sugerindo um processo quimiossortivo. Os resultados de adsorção mostraram que a capacidade máxima de adsorção de 128,74 mg g⁻¹ à 25 °C. Os dados isotérmicos apontaram melhor ajuste a isoterma de Langmuir e os dados experimentais sugerem uma adsorção exotérmica. O adsorvente proposto GO mostrou uma grande capacidade de remoção de DCF, com evidência para uma

interação favorável no processo adsorptivo, evidenciando que a aplicação deste material como adsorvente na remoção de DCF é eficiente.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio financeiro, à UEM (Universidade Estadual de Maringá) e ao PEQ (Programa de pós-graduação em Engenharia Química pela oportunidade de desenvolver à pesquisa.

REFERÊNCIAS

AHMED, M. J. Adsorption of non-steroidal anti-inflammatory drugs from aqueous solution using activated carbons: Review. **Journal of Environmental Management**, v. 190, p. 274-282, 2017/04/01/ 2017. ISSN 0301-4797.

ALLEN, M. J. et al. Chemically induced folding of single and bilayer graphene. **Chemical Communications**, n. 41, p. 6285-6287, 2009. ISSN 1359-7345.

AQUINO, S. F. D.; BRANDT, E. M. F.; CHERNICHARO, C. A. D. L. Remoção de fármacos e desreguladores endócrinos em estações de tratamento de esgoto: revisão da literatura. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 18, p. 187-204, 2013. ISSN 1413-4152.

BARRA CARACCILO, A.; TOPP, E.; GRENNI, P. Pharmaceuticals in the environment: biodegradation and effects on natural microbial communities. A review. **J Pharm Biomed Anal**, v. 106, p. 25-36, Mar 15 2015. ISSN 0731-7085.

BHADRA, B. N. et al. Adsorptive removal of ibuprofen and diclofenac from water using metal-organic framework-derived porous carbon. **Chemical Engineering Journal**, v. 314, p. 50-58, 2017/04/15/ 2017. ISSN 1385-8947.

BHADRA, B. N.; SEO, P. W.; JHUNG, S. H. Adsorption of diclofenac sodium from water using oxidized activated carbon. **Chemical Engineering Journal**, v. 301, p. 27-34, 2016/10/01/ 2016. ISSN 1385-8947.

CORCORAN, J.; WINTER, M. J.; TYLER, C. R. Pharmaceuticals in the aquatic environment: a critical review of the evidence for health effects in fish. **Crit Rev Toxicol**, v. 40, n. 4, p. 287-304, Apr 2010. ISSN 1040-8444.

DAUGHTON, C. G. Non-regulated water contaminants: emerging research. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 24, n. 7, p. 711-732, 2004/10/01/ 2004. ISSN 0195-9255.

EVGENIDOU, E. N.; KONSTANTINOOU, I. K.; LAMBROPOULOU, D. A. Occurrence and removal of transformation products of PPCPs and illicit drugs in wastewaters: A review. **Science of The Total Environment**, v. 505, p. 905-926, 2015/02/01/ 2015. ISSN 0048-9697.

FREUNDLICH, H. Over the adsorption in solution. **J. Phys. Chem**, v. 57, p. 385-470, 1906.

GEIM, A. K. Graphene: status and prospects. **Science**, v. 324, n. 5934, p. 1530-1534, 2009. ISSN 0036-8075.

HIEW, B. Y. Z. et al. Adsorptive removal of diclofenac by graphene oxide: Optimization, equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, 2018/08/17/ 2018. ISSN 1876-1070.

HO, Y. S.; MCKAY, G. Kinetic Models for the Sorption of Dye from Aqueous Solution by Wood. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 76, n. 2, p. 183-191, 1998/05/01 1998. ISSN 0957-5820.

HUMMERS, W. S.; OFFEMAN, R. E. Preparation of Graphitic Oxide. **Journal of the American Chemical Society**, v. 80, n. 6, p. 1339-1339, 1958/03/01 1958. ISSN 0002-7863.

JIANG, M. et al. Adsorption of three pharmaceuticals on two magnetic ion-exchange resins. **Journal of Environmental Sciences**, v. 31, p. 226-234, 2015/05/01/ 2015. ISSN 1001-0742.

KOVTYUKHOVA, N. I. et al. Layer-by-Layer Assembly of Ultrathin Composite Films from Micron-Sized Graphite Oxide Sheets and Polycations. **Chemistry of Materials**, v. 11, n. 3, p. 771-778, 1999/03/01 1999. ISSN 0897-4756.

LAGERGREN, S. **Zur theorie der sogenannten absorption gelöster stoffe.** Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar: PA Norstedt & söner, 1898.

LANGMUIR, I. THE CONSTITUTION AND FUNDAMENTAL PROPERTIES OF SOLIDS AND LIQUIDS. PART I. SOLIDS. **Journal of the American Chemical Society**, v. 38, n. 11, p. 2221-2295, 1916/11/01 1916. ISSN 0002-7863.

LINGAMDINNE, L. P. et al. Adsorption removal of Co(II) from waste-water using graphene oxide. **Hydrometallurgy**, v. 165, Part 1, p. 90-96, 2016. ISSN 0304-386X.

LU, M.-C. et al. Occurrence and treatment efficiency of pharmaceuticals in landfill leachates. **Waste Management**, v. 55, p. 257-264, 2016/09/01/ 2016. ISSN 0956-053X.

PARK, S. et al. Biocompatible, Robust Free-Standing Paper Composed of a TWEEN/Graphene Composite. **Advanced Materials**, v. 22, n. 15, p. 1736-1740, 2010. ISSN 1521-4095.

RAKIĆ, V. et al. The adsorption of pharmaceutically active compounds from aqueous solutions onto activated carbons. **Journal of Hazardous Materials**, v. 282, p. 141-149, 2015/01/23/ 2015. ISSN 0304-3894.

RODRÍGUEZ-ÁLVAREZ, T. et al. Oxidation of non-steroidal anti-inflammatory drugs with aqueous permanganate. **Water Research**, v. 47, n. 9, p. 3220-3230, 2013/06/01/ 2013. ISSN 0043-1354.

SANTOS, T. R. T. et al. Development of α and γ -Fe₂O₃ decorated graphene oxides for glyphosate removal from water. **Environmental Technology**, p. 1-21, 2017. ISSN 0959-3330.

SOTELO, J. L. et al. Competitive adsorption studies of caffeine and diclofenac aqueous solutions by activated carbon. **Chemical Engineering Journal**, v. 240, p. 443-453, 2014/03/15/ 2014. ISSN 1385-8947.

TEKER, M.; SALTABAŞ, Ö.; İMAMOĞLU, M. Adsorption of cobalt by activated carbon from the rice hulls. **Journal of Environmental Science and Health . Part A: Environmental Science and Engineering and Toxicology**, v. 32, n. 8, p. 2077-2086, 1997/09/01 1997. ISSN 1077-1204.

TEMKIN, M.; PYZHEV, V. Kinetics of ammonia synthesis on promoted iron catalysts. **Acta physiochim. URSS**, v. 12, n. 3, p. 217-222, 1940.

VONA, A. et al. Comparison of different removal techniques for selected pharmaceuticals. **Journal of Water Process Engineering**, v. 5, p. 48-57, 2015/04/01/ 2015. ISSN 2214-7144.

VU, H. C. et al. Magnetite graphene oxide encapsulated in alginate beads for enhanced adsorption of Cr(VI) and As(V) from aqueous solutions: Role of crosslinking metal cations in pH control. **Chemical Engineering Journal**, v. 307, p. 220-229, 2017. ISSN 1385-8947.

WANG, J.; CHEN, B. Adsorption and coadsorption of organic pollutants and a heavy metal by graphene oxide and reduced graphene materials. **Chemical Engineering Journal**, v. 281, p. 379-388, 2015. ISSN 1385-8947.

WEBB, S. et al. Indirect human exposure to pharmaceuticals via drinking water. **Toxicology Letters**, v. 142, n. 3, p. 157-167, 2003/05/15/ 2003. ISSN 0378-4274.

WU, Q. et al. A facile one-pot solvothermal method to produce superparamagnetic graphene-Fe₃O₄ nanocomposite and its application in the removal of dye from aqueous solution. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 101, p. 210-214, 2013. ISSN 0927-7765.

YUAN, S. et al. Detection, occurrence and fate of 22 psychiatric pharmaceuticals in psychiatric hospital and municipal wastewater treatment plants in Beijing, China. **Chemosphere**, v. 90, n. 10, p. 2520-2525, 2013/03/01/ 2013. ISSN 0045-6535.

ZHANG, Y. et al. Biochar-supported reduced graphene oxide composite for adsorption and coadsorption of atrazine and lead ions. **Applied Surface Science**, v. 427, n. Part A, p. 147-155, 2018/01/01/ 2018. ISSN 0169-4332.

ADSORÇÃO DE DIPIRONA DE AMOSTRAS AQUOSAS POR MEIO DE CASCAS DE SEMENTE DE *Moringa oleífera* Lam. MODIFICADAS

Rodrigo de Souza Antônio¹, Heloíse Beatriz Quesada², Luís Fernando Cusioli³,
Charleston de Oliveira Bezerra⁴, Rosângela Bergamasco⁵



RESUMO

Atualmente, o monitoramento de fármacos no meio ambiente vem ganhando destaque por serem encontrados frequentemente em efluentes de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) e águas superficiais, já que muitas vezes o tratamento convencional não é suficiente para sua remoção total. Tendo em vista tal impacto, o presente estudo buscou avaliar a capacidade de adsorção desse contaminante em cascas de sementes de *Moringa oleífera* Lam., um resíduo agroindustrial, após três tratamentos químicos seguidos de tratamento térmico. Os tratamentos testados foram: metanol seguido de ácido nítrico (MOMA), ácido fosfórico (MOA) e hidróxido de sódio (MOB). O maior valor de capacidade de adsorção foi obtido com MOB (10,24 mg.g⁻¹), porém a cor liberada pelo biossorvente resultou em falsas concentrações de dipirona de até 7,46 mg.g⁻¹. MOMA obteve o menor valor (2,66 mg.g⁻¹) e MOA obteve qe de 5,65 mg.g⁻¹, sendo a maior vantagem a ausência de interferência da cor, permitindo então quantificar a concentração real de dipirona. **Palavras-chave:** Poluentes emergentes; Dipirona; Adsorção.

ABSTRACT

Currently, the monitoring of pharmaceuticals in the environment has been highlighting because they are frequently found in waste water treatment plant (WWTP) effluents and surface waters, since conventional treatment is often not sufficient for its total removal. Considering this impact, the present study sought to evaluate the adsorption capacity of this contaminant in *Moringa oleífera* Lam. seed barks, an agroindustrial residue, after three chemical treatments followed by thermal treatment. The treatments tested were: methanol followed by nitric acid (MOMA), phosphoric acid (MOA) and sodium hydroxide (MOB). The highest adsorption capacity was obtained with MOB (10.24 mg.g⁻¹), but the color released by the biosorbent resulted in false concentrations of dipyrone up to 7.46 mg.g⁻¹. MOMA obtained the lowest value (2.66 mg.g⁻¹) and MOA obtained qe of 5.65 mg.g⁻¹, and its biggest advantage were the absence of color interference, allowing to quantify the actual concentration of dipyrone.

Key-words: Emerging pollutants; Dipyrone; Adsorption.

¹ Graduado em Engenharia Química, mestrando em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá – e-mail: z.rodriigo.antonio@gmail.com

² Graduado em Engenharia Ambiental, mestranda em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá – e-mail: heloisequesada@gmail.com

³ Mestre em Engenharia Química, doutorando em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá – e-mail: luiscusioli@gmail.com

⁴ Mestre em Engenharia Química, doutorando em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá – e-mail: charleston10@gmail.com

⁵ Mestre em Ciências de Alimentos e doutora em Engenharia Química e professora do programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá – e-mail: < rbergamasco@uem.br >.

1. INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas décadas, a ocorrência de micropoluentes no ambiente aquático tornou-se uma questão de preocupação mundial. Micropoluentes, também denominados contaminantes emergentes, consistem em uma vasta quantidade de substâncias de origem antrópica ou natural, incluindo produtos farmacêuticos e de cuidados pessoais, hormônios esteroides e agrotóxicos (Luo et al., 2014). Atualmente, o monitoramento de fármacos residuais no meio ambiente vem ganhando algum destaque devido ao fato de muitas dessas substâncias serem encontradas em efluentes de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) e águas superficiais, em concentrações na faixa de $\mu\text{g/L}$ e ng/L (BILA; DEZOTTI, 2003).

Mesmo que as concentrações de resíduos de fármacos em águas superficiais sejam baixas, sua presença e persistência ameaçam a vida aquática e terrestre, e seus efeitos não devem ser ignorados. Ainda, existe uma grande dificuldade de se estimar os efeitos em longo prazo (ASGHAR, et al., 2018; ZUCCATO et al., 2008). Levando em consideração esse fato, muitos estudos têm proposto tratamentos terciários que efetivamente removam os fármacos de efluentes e águas de abastecimento. Algumas técnicas avaliadas são nanofiltração e osmose reversa (GARCIA-IVARS et al., 2017; KAMRANI et al., 2018; LICONA et al., 2018), fotocatalise (DALRYMPLE et al. 2007), ozonização (HE et al., 2016; WANG; BAI, 2017) e adsorção (ÁLVAREZ-TORRELLAS et al., 2017; NAM et al., 2014).

Dentre os grupos de fármacos, existem os analgésicos, que ainda podem ser classificados em opióides e não opióides. A dipirona (metamizole) é considerada o medicamento não opióide com o maior potencial analgésico. Essa substância combate a dor originada de espasmos de músculos lisos, mas também possui propriedades antipiréticas e alguma atividade antiespasmódica. Devido a essas características, a dipirona é um dos fármacos mais consumidos na Argentina, Brasil, Alemanha, Itália e Espanha (FELDMANN et al., 2008). A dipirona e seus metabólitos são frequentemente encontrados em águas superficiais e efluentes do tratamento biológico de ETEs, sendo uma das cargas mais significativas de contaminantes residuais (BUENO et al., 2012). Portanto, muitos métodos de remoção são sugeridos pela literatura, entre eles foto-fenton (PEREZ-ESTRADA et al., 2007), eletro-fenton (BARROS et al., 2014), fotocatalise (CHELLI, GOLDER, 2018) e adsorção (SPRINGER et al., 2016).

A adsorção é considerada uma alternativa para remoção de poluentes orgânicos solúveis e insolúveis da água, e suas principais vantagens são a natureza universal, baixo custo e facilidade de operação. Basicamente, esse processo é a acumulação de uma substância, no caso, poluente, na superfície de adsorvente sólido. Atualmente, há o interesse na transformação de resíduos sólidos orgânicos em biossorventes para a remoção de contaminantes da água, buscando o aproveitamento desses materiais (ALI et al., 2012). Os resíduos agrícolas têm sido avaliados por serem constituídos principalmente de lignina e celulose, que levam os materiais a ter uma grande quantidade de grupos funcionais que favorecem a biossorção (ZAFAR et al. 2015). Tendo em vista tal constatação, é possível enquadrar a casca de Moringa oleifera Lam. como adsorvente de interesse.

A Moringa oleifera Lam. é uma planta de porte médio, de origem indiana, porém se desenvolve em quase todos os tipos de solo e principalmente em planícies tropicais (SUNDARAJ et al., 1970). Suas sementes têm sido frequentemente utilizadas como coagulante no tratamento de água para abastecimento. Além disso, estudos prévios indicaram alto potencial das cascas na remoção de poluentes em amostras aquosas, tais como metais e compostos orgânicos (AKHTAR et al., 2007; REDDY et

al., 2011).

Na literatura, existem poucos estudos de adsorção de dipirona de águas contaminadas, principalmente por biossorventes. Nesse contexto, o estudo buscou avaliar a capacidade de adsorção desse contaminante por meio de cascas de sementes de *Moringa oleifera* Lam., um resíduo agroindustrial, após diferentes tratamentos químicos seguidos de tratamento térmico.

2. METODOLOGIA

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Gestão, Controle e Preservação Ambiental da Universidade Estadual de Maringá – Campus Sede. As sementes de *Moringa oleifera* Lam. foram adquiridas da Universidade Federal de Aracaju, em Aracaju – SE.

2.1 Preparo das Cascas das Sementes de *Moringa Oleifera* Lam.

Primeiramente foram retiradas manualmente as cascas de sementes saudáveis de *Moringa oleifera* Lam. Então, essas foram trituradas em liquidificador industrial (Poli LS04MB), lavadas em água deionizada à aproximadamente 45°C e secas em estufa (SX CR/42) à 105°C por um período de 12h.

2.2 Tratamento Químico

Nesse estudo foram avaliados três tipos de tratamentos químicos. O primeiro foi baseado na metodologia de Akhtar et al. (2007), o qual foi realizado com a agitação das cascas com álcool metílico 0,1M durante 4h, em agitador mecânico. Após tríplex lavagem com água deionizada, as mesmas foram agitadas em agitador magnético sem controle de temperatura em contato com ácido nítrico 0,1M durante 1h. Após esse período, foi realizada a tríplex lavagem novamente. Então, as cascas foram secas em estufa por 12h à 105°C. Esse biossorvente foi denominado MOMA. Os outros três tratamentos foram realizados adaptando-se a metodologia descrita por Módenes et al. (2016), o qual testou um tratamento básico com hidróxido de sódio, um tratamento ácido com ácido fosfórico, e um tratamento ácido-básico, utilizando os dois reagentes. Para o desenvolvimento do adsorvente denominado MOA, as cascas de moringa foram agitadas em agitador magnético sem controle de temperatura em contato com ácido fosfórico 1M por um período de 3h, e logo após, lavadas por três vezes com água deionizada e secas em estufa por 12h à 105°C. O mesmo processo foi realizado com hidróxido de sódio 1M, gerando o biossorvente MOB. Já adsorvente denominado MOAB foi desenvolvido a partir do tratamento feito com MOA seguido do tratamento realizado com MOB.

2.3 Tratamento Térmico

O tratamento térmico foi realizado em forno mufla (Forno Jung 10.012) a 300°C durante 1h, visando o aumento da área superficial das cascas de semente de moringa tratadas quimicamente (AKHTAR, 2007). Os adsorventes foram colocados em um dessecador e separados por tamanho de partícula por peneiramento. O tamanho selecionado para os experimentos foi o de 500 µm, devido a seu maior rendimento. Após o peneiramento, o adsorvente foi lavado por meio de agitação com 600 mL de água deionizada e filtrado por 6 vezes. Então, foi seco em estufa à 105°C por 12h.

2.4 Ensaios De Adsorção

Os ensaios de adsorção foram realizados em mesa agitadora (Tecnal TE-4200), com a velocidade de agitação de 120 rpm e à 25°C. Foi utilizada solução de dipirona a 10mg L⁻¹ e avaliada 4 massas de adsorvente (0,02 g, 0,05 g, 0,1 g e 0,2 g) para o cálculo da capacidade de adsorção (Equação 01) e porcentagem de remoção (Equação 2). O tempo de contato foi fixado em 24h e não foram feitas variações de pH, utilizando o natural da solução (6,2). Todos os ensaios foram realizados em duplicata.

$$q_e = \frac{(C_0 - C_f) \cdot V}{m} \quad (01)$$

$$PR = \frac{C_0 - C_f}{C_0} \times 100 \quad (02)$$

Onde q_e é a capacidade de adsorção (mg.g⁻¹), PR é a porcentagem de remoção (%), C_0 e C_f são as concentrações inicial e final, respectivamente (mg.L⁻¹), V é o volume de solução (L), m é a massa de adsorvente (g).

Após o período de 24h, as amostras foram filtradas em membranas de acetato de celulose de 45 µm. As leituras da concentração de dipirona foram realizadas de acordo com a metodologia descrita por Springer et al. (2016). Para tal, uma curva de calibração foi construída em espectrofotômetro (Hach DR 5000) no comprimento de onda de 258 nm, por meio de diluições 1:2 em ácido clorídrico 0,1M.

Com intuito de identificar e amenizar o efeito da cor do adsorvente nas leituras da concentração de dipirona, foi deixado em agitação 25 mL de água deionizada com as mesmas massas de adsorvente avaliadas no estudo anterior. Após o período de 24h, foram realizadas leituras das amostras utilizando a curva de dipirona para posterior desconto nos valores das concentrações das amostras anteriores.

3. DESENVOLVIMENTO

Os dados de capacidade de adsorção e porcentagem de remoção de dipirona das amostras aquosas estão ilustrados nas Figuras 1, 2 e 3, relativas à MOMA, MOA e MOB, respectivamente.

Figura 1 - Efeito da massa de MOMA na capacidade de adsorção e porcentagem de remoção de dipirona.

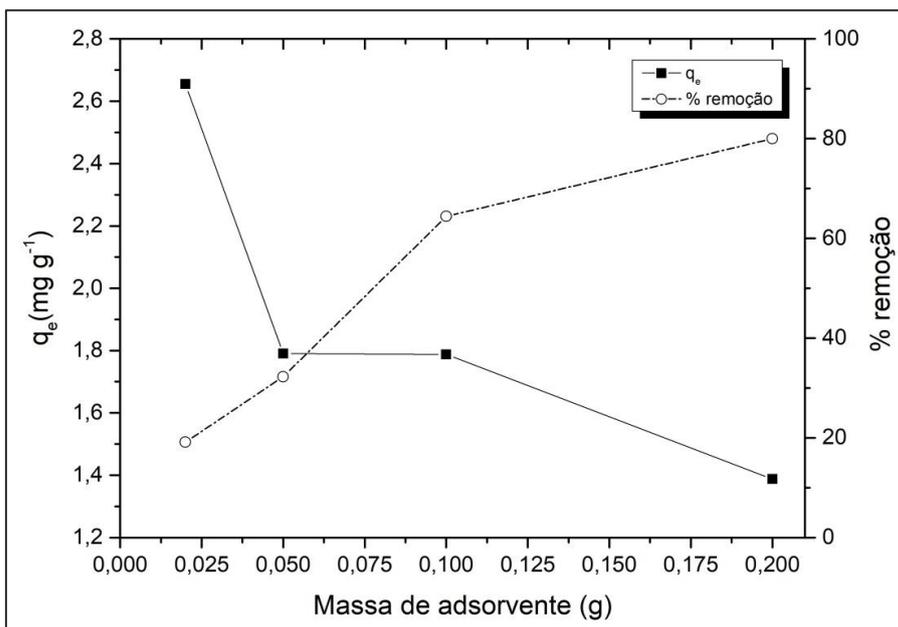


Figura 2 – Efeito da massa de MOA na capacidade de adsorção e porcentagem de remoção de dipirona.

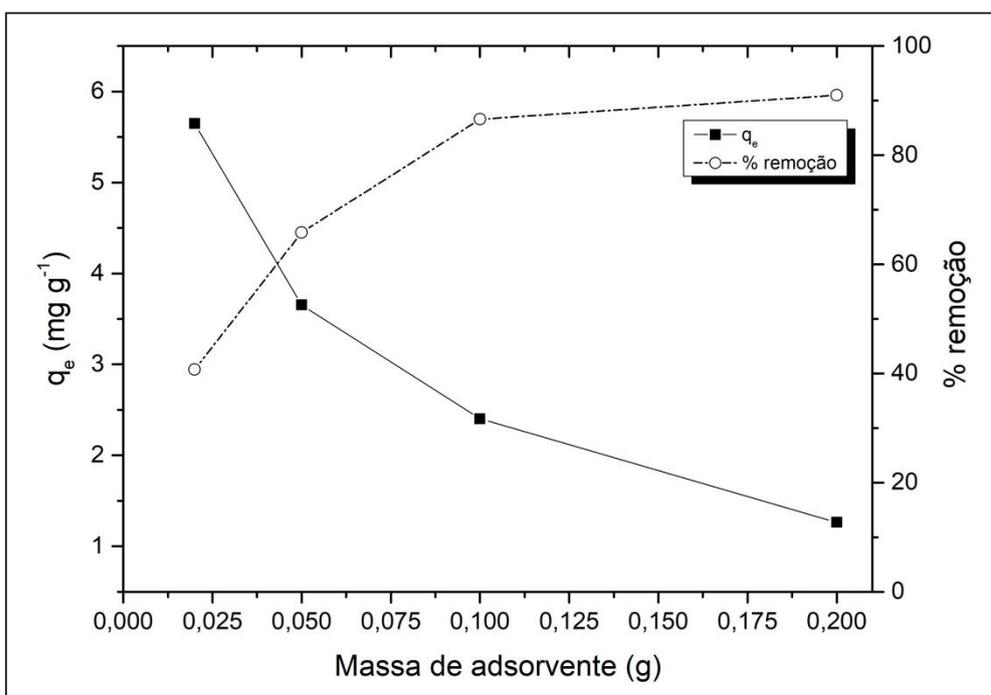
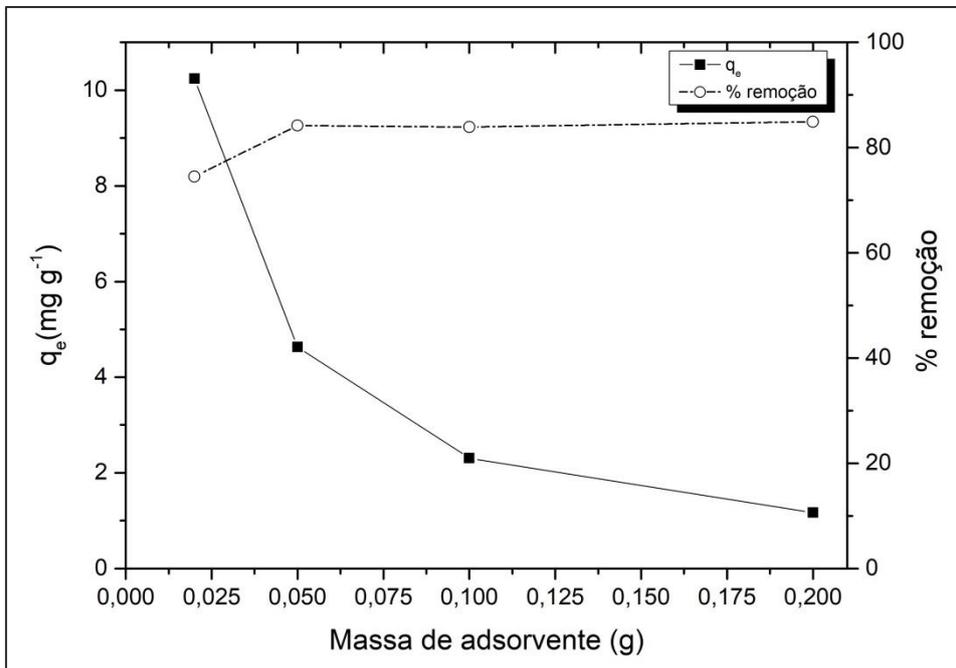


Figura 3 – Efeito da massa de MOB na capacidade de adsorção e porcentagem de remoção de dipirona



De maneira geral, nota-se que à medida que a massa do bioadsorvente aumentou, os valores de capacidade de adsorção (q_e) diminuíram, ao passo que a porcentagem de remoção aumentou. Esse fato pode ser explicado pela maior disponibilidade de locais de ligação para adsorção conforme há o aumento de massa. Entretanto, esse incremento não favorece a capacidade de adsorção, uma vez que não há a saturação dos sítios de adsorção ainda disponíveis (FONTECHA-CÂMARA et al., 2008).

Pode-se observar que o adsorvente tratado com metanol e ácido nítrico (MOMA) obteve q_e de 1,38 a 2,66 mg.g⁻¹ e a remoção entre 19,13 e 80,00%. O tratamento térmico com ácido fosfórico (MOA) resultou em adsorventes com capacidade de adsorção de 1,26 a 5,65 mg g⁻¹ e remoção de 40,72 a 90,99%. Por fim, o tratamento químico com base (MOB) resultou em q_e variando de 1,16 a 10,24 mg g⁻¹ e remoção entre 74,5 e 84,9%.

Vale ressaltar que a cor de MOMA resultou em concentrações falsas de dipirona de 0,224 a 2,05 mg.L⁻¹ conforme o aumento da massa. Essas foram descontadas dos resultados de concentração final das amostras dos ensaios de adsorção. De maneira semelhante, o efeito da cor de MOB resultou em concentrações de 0,716 a 7,16 mg L⁻¹. Já MOA não resultou em nenhum efeito de cor, sendo a concentração final, a real de dipirona.

Os tratamentos ácidos/básicos são utilizados em biomassas para aprimorar sua capacidade de adsorção dos contaminantes e alterar o comportamento elétrico da superfície. Espera-se que o ataque químico seja capaz de destruir ligações entre grupos funcionais e a superfície adsorvente. Este fenômeno pode resultar em um aumento do tamanho do poro, bem como interações com outros grupos funcionais do contaminante (MÓDENES et al., 2016).

Stavropoulos et al., (2008) comprovou que o ácido nítrico resultou na degradação dos microporos devido à sua natureza erosiva e na consequente

redução da área superficial. Ainda, Wibowo et al., (2007) explicou a redução da área superficial pela adição de elevado número de grupos funcionais acídicos à superfície. Tais fatos podem justificar a menor capacidade de adsorção obtida com a utilização de MOMA e cor resultante nas amostras.

Apesar do maior qe encontrado, as cascas de moringa tratadas com hidróxido de sódio causaram a maior interferência de cor. Mesmo com o desconto relativo a essa interferência, não é possível afirmar a verdadeira concentração de dipirona, visto que o valor de cor nas amostras não é constante, causando instabilidade operacional. Elangovan et al. (2008) observaram uma redução da capacidade de adsorção do biossorvente construído a partir da biomassa de ervas daninhas tratadas com Hidróxido de sódio. Os autores justificaram tal fato pela adição de sais de sódio na superfície dos poros e pela mudança das características físicas do material, o que também prejudicou a estabilidade operacional. Os autores observaram um inchaço da biomassa, que pode ser devido à quebra da cadeia polimérica.

O ácido fosfórico é um dos reagentes mais utilizados para o tratamento químico e é considerado mais ambientalmente correto do que outros reagentes corrosivos e perigosos (RAJAPAKSHA et al., 2016). Benaddi et al. (1998) explicou que o ácido fosfórico promove a despolimerização da celulose, desidratação de biopolímeros, formação de anéis aromáticos e eliminação de grupos fosfato, permitindo o aumento da área superficial do biossorvente. Em relação ao presente trabalho, o tratamento com ácido fosfórico (MOA) obteve maior qe em relação à MOMA, retirando grupos funcionais da casca da moringa sem a degradação excessiva do material, o que pode ser inferido devido à ausência de cor nas amostras aquosas.

4. CONCLUSÃO

Levando em consideração os resultados, pôde-se comprovar o potencial das cascas da semente de Moringa oleifera Lam. na adsorção de dipirona. O tratamento químico pode melhorar capacidade de adsorção da biomassa, aumentando a área superficial dos poros e alterando a carga, o que pode ser fundamental para a interação do contaminante com a superfície. Porém a modificação química pode degradar excessivamente o material e causar instabilidade operacional, por exemplo, devido à liberação de cor. O tratamento com metanol e ácido nítrico obteve o menor valor de capacidade de adsorção (máxima de 2,66 mg.g⁻¹). O tratamento com hidróxido de sódio resultou no maior valor (10,24 mg.g⁻¹), porém obteve a maior interferência de cor, chegando a 7,16 mg.L⁻¹ de falsa concentração de dipirona. Já o tratamento com ácido fosfórico atingiu capacidade de adsorção de 5,65 mg.g⁻¹ e não resultou na liberação de cor nas amostras, podendo ser quantificada a real concentração de dipirona.

A utilização de outros métodos de quantificação, como por exemplo, cromatografia líquida de alta eficiência, evitaria falsas leituras na concentração do fármaco. Porém, deve-se avaliar se o adsorvente está sendo excessivamente degradado, através da caracterização do mesmo, utilizando-se, por exemplo, da microscopia eletrônica de varredura. Sugere-se para trabalhos futuros, portanto, estudos de caracterização, além de estudos de cinéticos e de equilíbrio para a determinação dos mecanismos e interações entre adsorbato e adsorvente.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CNPQ e à CAPES pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- AKHTAR, M.; HASANY, S. M.; BHANGER, M. I.; IQBAL, S. Sorption potential of Moringa oleifera pods for the removal of organic pollutants from aqueous solutions. **Journal of Hazardous Materials**, v. 141, n. 3, pp. 546-556, 2007.
- ALI, I., ASIM, M.; KHAN, T. A. (2012). Low cost adsorbents for the removal of pollutants from wastewater. **Journal of Environmental Management**, v. 113, p. 170-183, 2012.
- ÁLVAREZ-TORRELLAS, S., PERES, J. A., GIL-ÁLVAREZ, V., OVEJERO, G., & GARCÍA, J. Effective adsorption of non-biodegradable pharmaceuticals from hospital wastewater with different carbon materials. **Chemical Engineering Journal**, v. 320, p. 319–329, 2017.
- ASGHAR, M. A.; ZHU, Q.; SUN, S.; PENG, Y.; SHUAI, Q. Suspect screening and target quantification of human pharmaceutical residues in the surface water of Wuhan, China, using UHPLC-Q-Orbitrap HRMS. **Science of the Total Environment**, v. 635, p. 828–837, 2018.
- BARROS, W. R., BORGES, M. P., REIS, R. M., ROCHA, R. S., BERTAZZOLI, R., LANZA, M. R. Degradation of dipyrone by the electro-Fenton process in an electrochemical flow reactor with a modified gas diffusion electrode. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 25, n. 9, p. 1673-1680, 2014.
- BENADDI, H, D. LEGRAS, J.N. ROUZAUD, F. BÉGUIN. Influence of the atmosphere in the chemical activation of wood by phosphoric acid. **Carbon**, v. 36, n.3, pp. 306–309, 1998.
- BILA, D. M., DEZOTTI, M. Fármacos no meio ambiente. **Química Nova**, v. 26, n. 4, p. 523-530, 2003.
- BUENO, M. M., GOMEZ, M. J., HERRERA, S. Occurrence and persistence of organic emerging contaminants and priority pollutants in five sewage treatment plants of Spain: two years pilot survey monitoring. **Environmental Pollution**, n. 164, p. 267-273, 2012.
- CHELLI, V. R.; GOLDBERGER, A. Ag-doping on ZnO support mediated by bio-analytes rich in ascorbic acid for photocatalytic degradation of dipyrone drug. **Chemosphere**, v. 208, pp. 149-158, 2018.
- DALRYMPLE, O. K., YEH, D. H., & TROTZ, M. A. Removing pharmaceuticals and endocrine-disrupting compounds from wastewater by photocatalysis. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, 2017.

ELANGO VAN, R., PHILIP, L., CHANDRARAJ, K. Biosorption of chromium species by aquatic weeds: kinetics and mechanism studies. **Journal of Hazardous materials**, v. 152, n. 1, pp. 100-112, 2008.

FELDMANN, D. F., ZUEHLKE, S., HEBERER, T. Occurrence, fate and assessment of polar metamizole (dipyrone) residues in hospital and municipal wastewater. **Chemosphere**, v. 71, n. 9, p. 1754-1764, 2008.

FONTECHA-CÁMARA, M. A. et al. Kinetics of diuron and amitrole adsorption from aqueous solution on activated carbons. **Journal of Hazardous Materials**, v. 156, n. 1-3, pp. 472-477, 2008.

GARCIA-IVARS, J., MARTELLA, L., MASSELLA, M., CARBONELL-ALCAINA, C., ALCAINA-MIRANDA, M. I., & IBORRA-CLAR, M. I. Nanofiltration as tertiary treatment method for removing trace pharmaceutically active compounds in wastewater from wastewater treatment plants. **Water Research**, 2017.

HE, Y., SUTTON, N. B., RIJNAARTS, H. H. H., & LANGENHOFF, A. A. M. Degradation of pharmaceuticals in wastewater using immobilized TiO₂ photocatalysis under simulated solar irradiation. **Applied Catalysis B: Environmental**, 2016.

KAMRANI, M., AKBARI, A., & YUNESSNIA LEHI, A. Chitosan-modified acrylic nanofiltration membrane for efficient removal of pharmaceutical compounds. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 6, n. 1, p. 583-587, 2018.

LICONA, K. P. M., GEAQUINTO, L. R. D. O., NICOLINI, J. V., FIGUEIREDO, N. G., CHIAPETTA, S. C., HABERT, A. C., & YOKOYAMA, L. Assessing potential of nanofiltration and reverse osmosis for removal of toxic pharmaceuticals from water. **Journal of Water Process Engineering**, v. 25, p. 195-204, 2018.

LUO, Y., GUO, W., NGO, H. H., NGHIEM, L. D., HAI, F. I., ZHANG, J., ... WANG, X. C. A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment. **Science of the Total Environment**, v.473-474, p.619-641, 2014.

MÓDENES, A. N., de OLIVEIRA, A. P., ESPINOZA-QUIÑONES, F. R., A. D., BORBA, C. E., BERGAMASCO, R. Potential of *Salvinia auriculata* biomass as biosorbent of the Cr (III). **Environmental technology**, v. 38, n. 12, pp. 1474-1488, 2017.

NAM, S. W., CHOI, D. J., KIM, S. K., HER, N., & ZOH, K. D. (2014). Adsorption characteristics of selected hydrophilic and hydrophobic micropollutants in water using activated carbon. **Journal of Hazardous Materials**, v. 270, p. 144-152, 2014.

PÉREZ-ESTRADA, L. A., MALATO, S., AGÜERA, A., FERNÁNDEZ-ALBA, A. R. (2007). Degradation of dipyrone and its main intermediates by solar AOPs. **Catalysis Today**, v. 129 n.1-2, p. 207-214, 2007.

RAJAPAKSHA, A. U., CHEN, S. S., TSANG, D. C., ZHANG, M. Engineered biochar for contaminant removal/immobilization from soil and water: potential and implication of biochar modification. **Chemosphere**, v. 148, pp. 276-291, 2016.

REDDY, D. H. K., SESHIAH, K., REDDY, A. V. R., RAO, M. M. AND WANG, M. C. Biosorption of Pb²⁺ from aqueous solutions by *Moringa oleifera* bark: Equilibrium and kinetic studies. **Journal of Hazardous Materials**, v.174, n.1–3, p. 831-838. 2010.

SPRINGER, V., PECINI, E., & AVENA, M. Magnetic nickel ferrite nanoparticles for removal of dipyrone from aqueous solutions”. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 4, n. 4, pp. 3882-3890, 2018.

STAVROPOULOS, G. G., SAMARAS, P., SAKELLAROPOULOS, G. P. Effect of activated carbons modification on porosity, surface structure and phenol adsorption. **Journal of Hazardous Materials**, v. 151, n. 2-3, pp. 414-421, 2008.

STUMPF, M., TERNES, T. A., WILKEN, R. D. Polar drug residues in sewage and natural waters in the state of Rio de Janeiro, Brazil. **Science of the total environment**, v. 225, n. 1-2, p. 135-141, 1999.

WANG, J., & BAI, Z. Fe-based catalysts for heterogeneous catalytic ozonation of emerging contaminants in water and wastewater. **Chemical Engineering Journal**, 2017.

WIBOWO, N.; SETYADHI, L.; WIBOWO, D.; SETIAWAN, J.; ISMADJI, S. Adsorption of benzene and toluene from aqueous solutions onto activated carbon and its acid and heat treated forms: Influence of surface chemistry on adsorption. **Journal of Hazardous Materials**, v. 146, n. 1, pp. 237- 242, 2007.

ZAFAR, M. N. et al. Characterization of chemically modified biosorbents from rice bran for biosorption of Ni (II). **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, v. 46, p. 82-88, 2015.

ZUCCATO, Ettore et al. Illicit drugs, a novel group of environmental contaminants. **Water research**, v. 42, n. 4-5, p. 961-968, 2008.

ADSORÇÃO DO ANTIBIÓTICO CEFALEXINA EM SOLUÇÃO AQUOSA UTILIZANDO ÓXIDO DE GRAFENO



Gessica Wernke¹, Ana Carolina Sestito Guerra², Quelen Leticia Shimabuku-Biadola³, Marcia Regina Fagundes Klen⁴, Ronsângela Bergamasco⁵.

RESUMO

A presença dos antibióticos no ambiente ocorre de diversas formas, além do descarte dos produtos farmacêuticos, o que não é absorvido no organismo acabam sendo lançado no esgoto doméstico, o que tem levado a contaminação dos recursos hídricos, resultando em graves problemas ambientais e à saúde humana. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência do processo de adsorção utilizando adsorvente composto por óxido de grafeno para remoção de cefalexina. A influência dos parâmetros no processo de adsorção em batelada foi avaliada analisando o efeito do pH da solução e massa de adsorvente. No estudo da cinética de adsorção o modelo de pseudo-segunda ordem foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais. Para o estudo de massa do adsorvente observou-se que a capacidade máxima de adsorção foi de 164,32 mg g⁻¹ para a menor massa utilizada no estudo (0,01 g), já na influência dos três pHs analisados o que obteve uma maior porcentagem de remoção foi o pH 7. Portanto, o óxido de grafeno apresenta-se efetivo para remoção do antibiótico cefalexina em solução aquosa utilizando o processo de adsorção em batelada.

Palavras-chave: adsorção; antibiótico; cefalexina; óxido de grafeno.

ABSTRACT

The presence of antibiotics in alternative food is not sewage, which has led to contamination of water resources, degradation of problems and human health. Thus, the objective of this work was to evaluate the efficiency of the adsorption process using adsorbent composed of graphene oxide for the removal of cephalexin. The influence of the parameters on the batch adsorption process was evaluated by analyzing the effect of solution pH and adsorbent mass. In the adsorption kinetics study, the pseudo second order model was the best fit for the experimental data. It was observed that the maximum adsorption capacity was 164.32 mg g⁻¹ for the lowest mass used in the study (0.01 g), already in the influence of the three analyzed

¹Mestre em Engenharia Química, doutoranda em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá - UEM – e-mail: <gessica.wernke@hotmail.com>.

²Mestranda em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá - UEM – e-mail: <anacarolina_guerra@hotmail.com>.

³Doutora em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá - UEM – e-mail: <le.shimabuku@gmail.com>.

⁴Doutora em Engenharia Química e professora pelo departamento de Engenharia Química da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE – e-mail: <fagundes.klen@gmail.com>.

⁵Doutora em Engenharia Química e professora pelo departamento de Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá - UEM – e-mail: <ro.bergamasco@hotmail.com>.

pHs, which obtained a the highest percentage of removal was pH 7. Therefore, graphene oxide is effective for the removal of the antibiotic cephalexin in aqueous solution using the batch adsorption process.

Keywords: adsorption; antibiotic; cephalexin; graphene oxide.

1. INTRODUÇÃO

Os antibióticos estão cada vez mais presentes no dia a dia da população. As cefalosporinas são antibióticos de lactama com os mesmos requisitos estruturais que a penicilina, são utilizadas para o tratamento de infecções causadas por bactérias gram-positivas e gram negativas, atuando na inibição da síntese de componentes estruturais da parede celular. A cefalexina é um tipo de antibiótico de cefalosporina semi-sintético, utilizado para tratar uma variedade de infecções tanto em humanos quanto em animais devido à sua ampla atividade antibacteriana (Watkinson, Murby, & Costanzo, 2007). Os resíduos de fármacos têm ganhado a atenção na pesquisa devido a sua alta disposição no meio ambiente, por serem compostos de poluentes emergentes, tais poluentes possuem substâncias com elevado potencial tóxico no meio ambiente (Zhang, Grover, & Zhou, 2009).

A presença dos antibióticos em águas residuais, são provenientes do descarte inadequado de residências, hospitais e fábricas farmacêuticas contaminando o meio ambiente. Esses antibióticos são altamente resistentes a degradação o que representa grande ameaça para a saúde humana, pois podem ocasionar alterações nas funções fisiológicas do corpo humano por efeitos mutagênicos se tornando cancerígenos (Kong et al., 2015).

Estudos mostraram que as tecnologias convencionais nem sempre são eficazes na remoção de fármacos ativos presentes na água (Verlicchi, Al Aukidy, & Zambello, 2012). (Bergeron, Raj, Nathaniel, Corbin, & LaFleur, 2017) pesquisaram a presença e a resistência dos antibióticos na água potável em uma comunidade rural dos EUA e, após passar pela estação de tratamento, verificou-se que ainda havia a presença dos antibióticos na água. (Mirzaei et al., 2018) e seus colaboradores analisaram a ocorrência e o destino dos antibióticos presentes na água de rios e efluentes no Irã, e confirmaram que a ciprofloxacina e cefalexina foram os antibióticos mais encontrados na água dos rios.

Portanto, tendo em vista os riscos associados à presença dos antibióticos no meio ambiente é de suma importância à remoção destes nas estações de tratamento de efluentes (ETEs) (Langford & Thomas, 2009); (Piecha, Sarakha, Trebše, & Kočar, 2010). Dentro os vários processos para remover os produtos fármacos de água contaminada, o processo de adsorção vem se destacando por ser uma tecnologia de baixo custo, fácil operação e alta eficiência (Ghaedi, Ansari, Habibi, & Asghari, 2014).

Estudos foram desenvolvidos para remoção de cefalexina, com a utilização do processo de adsorção (Nazari, Abolghasemi, & Esmaili, 2016), processo de adsorção utilizando carvão ativado (M. S. Miao et al., 2016) e utilização de diferentes fungos para eliminação dos produtos farmacêuticos (Lucas et al., 2018).

Dentre os adsorventes avaliados, as nanopartículas estão sendo cada vez mais utilizadas devido às suas boas propriedades químicas, físicas e elétricas (Hu, Wang, Sun, Liu, & Qu, 2016)

Neste sentido, o presente estudo tem o objetivo avaliar a eficiência do processo de adsorção do antibiótico cefalexina utilizando adsorvente de óxido de

grafeno, foram avaliados parâmetros que possam influenciar o processo de adsorção como o pH inicial da solução de cefalexina e o efeito de massa de adsorvente.

2. METODOLOGIA

A síntese do óxido de grafeno foi realizada utilizando-se o método de Hummers modificado (Hummers & Offeman, 1958); (Kovtyukhova, 1999). Este método é dividido em duas etapas, a pré oxidação e a oxidação. No processo de pré oxidação do grafeno foram utilizados 5 g de P4O10, 10 g de C e 36 mL de H2SO4 em um balão de vidro, a solução foi homogeneizada com uma rotação de 140-150 rpm. Após a homogeneização, adicionou-se 5 g de pentóxido de fósforo.

Em seguida, o balão com a solução foi colocado no interior de béquer com 400 mL de água e mantido sob agitação em 150 rpm e posteriormente adicionou-se 5 g de K2S2O8, em seguida, um condensador foi acoplado deixando sob agitação por 5 horas em banho maria à 80 °C, após este período a solução foi despejada em um béquer com 4 L de água destilada, decantando a solução por um período de 12 horas. Na sequência, o material decantado foi filtrado com uma bomba à vácuo (DVP Vacuum Technology srl/ modelo Thermal Protector 130 oC), utilizando papel filtro qualitativo 14 µm e, seco em estufa (Sterilifer), por 12 horas à 60 oC.

Na etapa da oxidação do grafeno utilizou-se 1 g de grafeno pré oxidado e 18 mL de H2SO4, homogeneizados à 160 rpm (GOstirrer/ MS-H-Pro), adicionou-se 3 g de KMnO4 por 2 horas. Após as 2 horas sob agitação, o erlenmeyer foi disposto em um banho de gelo e, em seguida, adicionou-se 46 mL de água deionizada mantendo sob agitação por 2 horas à 180 rpm. Na sequência, adicionou-se 140 mL de água deionizada e 2,5 mL de H2O2 (30%). Verteu-se a solução em 250 mL de HCl (10%) por 24 horas. Após a decantação, o sobrenadante foi descartado e iniciou-se a centrifugação à 4000 rpm, por 20 minutos.

O processo de centrifugação foi repetido até atingir pH próximo a 7. Ao final do processo de centrifugação, o sólido obtido foi acomodado em placas de petri e secos em estufa com circulação e renovação de ar (Sterilifer), por um período de 12 horas à 60 °C, obtendo-se assim o óxido de grafeno.

As soluções foram preparadas com o antibiótico cefalexina de grau farmacêutico (teor de 99,44%), e a quantificação da cefalexina foi realizada em espectrofotômetro (Shimadzu) em comprimento de onda de 262 nm. A solução de cada experimento foi preparada com concentrações pré-definidas, adicionando-se cefalexina em água destilada sob agitação por 15 minutos, utilizando um agitador magnético (GOstirrer modelo MS-H-Pro). Os pHs das soluções foram ajustados à 4, 7 e 10 utilizando as soluções de HCl 0,1 e 1 mol L⁻¹ e de NaOH 0,1 e 1 mol L⁻¹.

Os experimentos de adsorção foram realizados conforme metodologia de (M.-S. Miao et al., 2016). Foram realizados estudos para determinar as condições experimentais (pH e efeito da massa), e posteriormente, teste cinético na melhor condição encontrada. O estudo cinético foi realizado em batelada, fixando a temperatura a 25°C, massa de adsorvente de 0,1 g, velocidade de agitação de 100 rpm, volume de solução do contaminante de 25 mL e pH 7.

Após o processo de adsorção foi determinado a quantidade de cefalexina adsorvida na fase sólida no equilíbrio, calculada por um balanço de massa no sistema (q_e), dado pela Equação (1):

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{W} \quad (1)$$

Onde q_e é a quantidade adsorvida na fase sólida no equilíbrio, C_0 é a concentração inicial do antibiótico cefalexina na solução (mg L^{-1}), C_e é a concentração do antibiótico cefalexina no equilíbrio em solução (mg L^{-1}), V é o volume de solução (L) e W é a massa de adsorvente (g).

Em seguida, a cinética de adsorção foi analisada através dos ajustes dos modelos cinéticos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem aos dados experimentais.

O modelo de pseudo-primeira ordem pode ser expresso na Equação (2) como:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1 \cdot q_e - q_t \quad (2)$$

Onde q_t é a capacidade de adsorção no tempo t (mg g^{-1}), q_e é a capacidade de adsorção no equilíbrio (mg g^{-1}), t é o tempo de reação (min) e k_1 é a constante de velocidade de adsorção de pseudo-primeira ordem ($\text{g mg}^{-1} \text{min}^{-1}$).

O modelo de pseudo-segunda ordem está demonstrado na Equação (3) da seguinte maneira:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2 \cdot q_e - q_t^2 \quad (3)$$

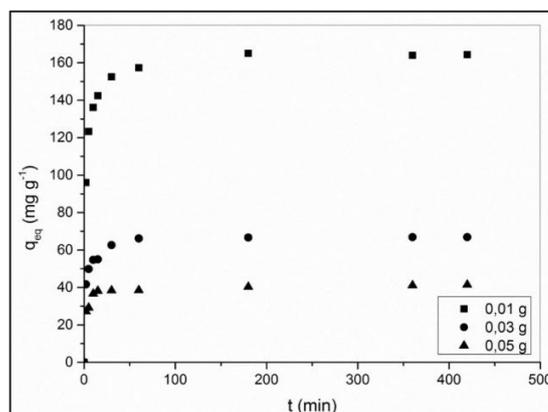
Onde q_t é a capacidade de adsorção no tempo t (mg g^{-1}), q_e é a capacidade de adsorção no equilíbrio (mg g^{-1}), t é o tempo de reação (min) e k_2 é a constante de velocidade de adsorção de pseudo-segunda ordem ($\text{g mg}^{-1} \text{min}^{-1}$).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O efeito da massa de adsorvente para remoção do antibiótico cefalexina utilizando como adsorvente o óxido de grafeno, foi testado variando a massa em 0,01 g, 0,03 g e 0,05 g, as curvas estão apresentadas na Figura 1.

Pode-se observar na Figura 1 que a quantidade adsorvida aumentou com a diminuição da dosagem de adsorvente. Para a menor massa o processo alcançou uma capacidade de adsorção de $164,325 \text{ mg g}^{-1}$, já para a maior massa de adsorvente a capacidade de adsorção caiu para $41,45 \text{ mg g}^{-1}$.

Figura 1 – Curva para avaliação do efeito da massa de adsorvente no processo de adsorção do antibiótico cefalexina (condições experimentais: pH: 7, T: 25°C , velocidade de agitação: 100 rpm, volume de solução: 25 mL e C_0 : 100 mg L^{-1}).

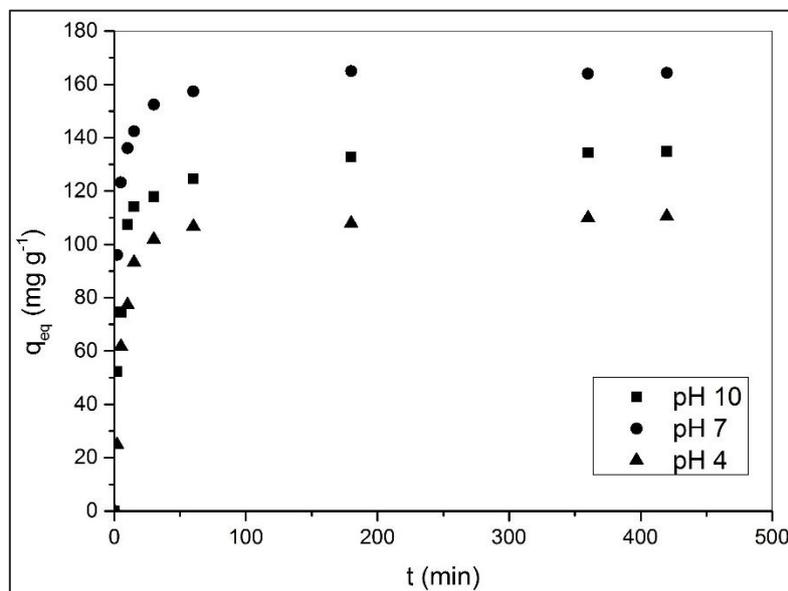


Fonte: Autor.

De acordo com (Patil & Shrivastava, 2010) a diminuição da capacidade de adsorção de cefalexina com o aumento da dosagem do adsorvente é essencialmente devido aos locais insaturados durante o processo de adsorção. (Nazari et al., 2016) também observaram um aumento na capacidade de adsorção de cefalexina com a diminuição da dosagem de adsorvente, utilizando carvão ativado de casca de noz.

Dependendo do valor do pH a solubilidade do adsorbato em solução e a carga na superfície do material podem mudar. Desta forma o pH é um parâmetro importante no processo de adsorção. Os ensaios de variação do pH da solução na adsorção do antibiótico utilizando como adsorvente o óxido de grafeno estão apresentados na Figura 2.

Figura 2 – Curva para avaliação do efeito do pH no processo de adsorção do antibiótico cefalexina (condições experimentais: m_{ads} : 0,01, T : 25°C, velocidade de agitação: 100 rpm, volume de solução: 25 mL e C_o : 100 mg L⁻¹).



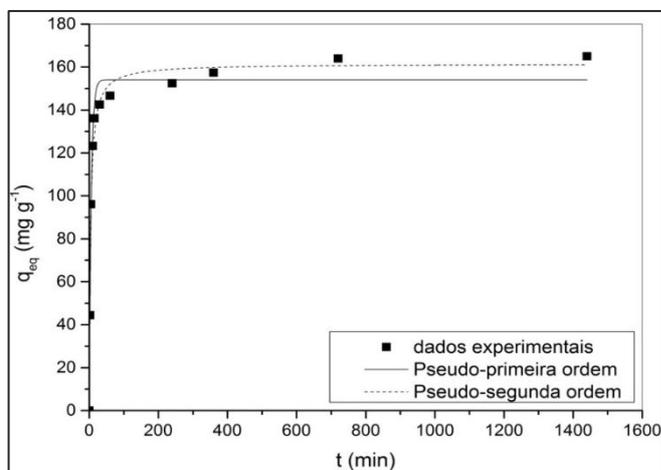
Fonte: Autor.

O pH que apresentou a melhor capacidade de adsorção do antibiótico foi o pH 7 (54,99 mg g⁻¹), equivalente a 65,99% de remoção de cefalexina. Já para o pH 4 (36,85 mg g⁻¹) e 10 (44,97 mg g⁻¹) a porcentagem de remoção foi de 54,1 e 44,26% respectivamente.

Desta forma, os ensaios posteriores foram fixados a solução do antibiótico em pH 7, por ter obtido uma maior capacidade de adsorção e por ser o mais próximo ao pH natural da solução de cefalexina, visando assim a redução de reagentes.

O ajuste dos modelos cinéticos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem aos dados experimentais são mostrados na Figura 3.

Figura 3 - Ajuste dos modelos cinéticos aos dados experimentais (condições experimentais: m_{ads} :0,01 g, T: 25°C, velocidade de agitação: 100 rpm, volume de solução: 25 mL, C_0 : 100 mg L⁻¹ e pH 7).



Fonte: Autor.

Na Figura 3 pode-se observar que a remoção do antibiótico ocorreu mais rapidamente no início do processo, diminuindo com o passar do tempo até atingir o equilíbrio em 720 min, apresentando uma capacidade de adsorção de 163,95 mg g⁻¹. Soledad & Basaldella, (2016) estudaram a adsorção de cefalexina por sílica mesoporosa, na taxa de agitação de 120 e 400 rpm (SBA120 e SBA400) e alcançaram o equilíbrio em 330 e 300 minutos, respectivamente. Obtendo uma capacidade de adsorção de aproximadamente 100 mg g⁻¹ para SBA120 e 60 mg g⁻¹ para SBA400.

Para avaliar as cinéticas de adsorção, os modelos de pseudo-primeira e pseudo-segunda ordem foram ajustados aos dados experimentais através das Equações (2) e (3), respectivamente. A Tabela 1 apresenta os valores dos ajustes dos modelos pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem e os parâmetros dos modelos cinéticos.

Tabela 1 – Parâmetros obtidos a partir dos modelos aos dados experimentais.

Modelo cinético	Adsorvente
$q_{experimental}$ (mg g ⁻¹)	163,975
Modelo pseudo-primeira ordem	
K_1 (min ⁻¹)	0,172
q_{eq} (mg g ⁻¹)	154,066
r^2	0,980
Modelo pseudo-segunda ordem	
K_2 (g min ⁻¹ mg ⁻¹)	0,001
q_{eq} (mg g ⁻¹)	161,499
r^2	0,986

Fonte: Autor.

De acordo com a Tabela 1 ambos modelos cinéticos tiveram um bom ajuste para os dados experimentais, com coeficiente de correlação de 0,98, porém o q_{eq} experimental está mais próximo do q_{eq} do modelo de pseudo-segunda ordem, indicando assim que este modelo melhor descreve os dados experimentais.

De acordo com esse modelo a velocidade de reação é dependente da quantidade de soluto adsorvido na superfície do adsorvente e da quantidade adsorvida no equilíbrio (Ho, Mckay, Wase, & Forster, 2000) que se baseia no pressuposto de que a adsorção é uma reação química. Esses resultados estão de acordo com os encontrados por Samarghandi, Al-Musawi, Mohseni-Bandpi, & Zarrabi, (2015) que estudaram adsorção de cefalexina por zeólitos revestida por Fe₃O₄.

4. CONCLUSÃO

O óxido de grafeno sintetizado apresentou alta capacidade de adsorção, na remoção do antibiótico cefalexina atingindo o valor 164,35 mg g⁻¹, utilizando 0,01 g de adsorvente com solução em pH 7. O modelo cinético de pseudo-segunda ordem foi o que obteve um bom ajuste aos dados experimentais. O material produzido mostrou-se eficiente para a remoção de cefalexina da água, podendo ser utilizado como uma promissora alternativa ao tratamento de água.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- Bergeron, S., Raj, B., Nathaniel, R., Corbin, A., & LaFleur, G. (2017). Presence of antibiotic resistance genes in raw source water of a drinking water treatment plant in a rural community of USA. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 124, 3–9. <https://doi.org/10.1016/J.IBIOD.2017.05.024>
- Ghaedi, M., Ansari, A., Habibi, M. H., & Asghari, A. R. (2014). Removal of malachite green from aqueous solution by zinc oxide nanoparticle loaded on activated carbon: Kinetics and isotherm study. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20(1), 17–28. <https://doi.org/10.1016/J.JIEC.2013.04.031>
- Ho, Y. S., Mckay, G., Wase, D. A. J., & Forster, C. F. (2000). Study of the sorption of divalent metal ions on to peat. *Adsorption Science and Technology*, 18(7), 639–650. <https://doi.org/10.1260/0263617001493693>
- Hu, C., Wang, S., Sun, J., Liu, H., & Qu, J. (2016). An effective method for improving electrocoagulation process: Optimization of Al₁₃ polymer formation. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 489, 234–240. <https://doi.org/10.1016/J.COLSURFA.2015.10.063>
- Hummers, W. S., & Offeman, R. E. (1958). Preparation of Graphitic Oxide. *Journal of the American Chemical Society*, 80(6), 1339. <https://doi.org/10.1021/ja01539a017>

Kong, D., Liang, B., Yun, H., Cheng, H., Ma, J., Cui, M., ... Ren, N. (2015). Cathodic degradation of antibiotics: Characterization and pathway analysis. **Water Research**, 72, 281–292. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.01.025>

Kovtyukhova, N. I. (1999). Layer-by-layer assembly of ultrathin composite films from micron-sized graphite oxide sheets and polycations. **Chemistry of Materials**, 11(3), 771–778. <https://doi.org/10.1021/cm981085u>

Langford, K. H., & Thomas, K. V. (2009). Determination of pharmaceutical compounds in hospital effluents and their contribution to wastewater treatment works. **Environment International**, 35(5), 766–770. <https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2009.02.007>

Lucas, D., Castellet-Rovira, F., Villagrasa, M., Badia-Fabregat, M., Barceló, D., Vicent, T., Rodríguez-Mozaz, S. (2018). The role of sorption processes in the removal of pharmaceuticals by fungal treatment of wastewater. **Science of The Total Environment**, 610–611, 1147–1153. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2017.08.118>

Miao, M.-S., Liu, Q., Shu, L., Wang, Z., Liu, Y.-Z., & Kong, Q. (2016). Removal of cephalexin from effluent by activated carbon prepared from alligator weed: Kinetics, isotherms, and thermodynamic analyses. **Process Safety and Environmental Protection**, 104, 481–489. <https://doi.org/10.1016/J.PSEP.2016.03.017>

Miao, M. S., Liu, Q., Shu, L., Wang, Z., Liu, Y. Z., & Kong, Q. (2016). Removal of cephalexin from effluent by activated carbon prepared from alligator weed: Kinetics, isotherms, and thermodynamic analyses. **Process Safety and Environmental Protection**, 104, 481–489. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2016.03.017>

Mirzaei, R., Yunesian, M., Nasserli, S., Gholami, M., Jalilzadeh, E., Shoeibi, S., & Mesdaghinia, A. (2018). Occurrence and fate of most prescribed antibiotics in different water environments of Tehran, Iran. **Science of The Total Environment**, 619–620, 446–459. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2017.07.272>

Nazari, G., Abolghasemi, H., & Esmaili, M. (2016). Batch adsorption of cephalexin antibiotic from aqueous solution by walnut shell-based activated carbon. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, 58, 357–365. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2015.06.006>

Patil, A. K., & Shrivastava, V. S. (2010). Alternanthera bettzichiana plant powder as low cost adsorbent for removal of congo red from aqueous solution. **International Journal of ChemTech Research**, 2(2), 842–850.

Piecha, M., Sarakha, M., Trebše, P., & Kočar, D. (2010). Stability studies of cholesterol lowering statin drugs in aqueous samples using HPLC and LC-MS. **Environmental Chemistry Letters**, 8(2), 185–191. <https://doi.org/10.1007/s10311-009-0207-0>

Samarghandi, M. R., Al-Musawi, T. J., Mohseni-Bandpi, A., & Zarrabi, M. (2015).

Adsorption of cephalexin from aqueous solution using natural zeolite and zeolite coated with manganese oxide nanoparticles. **Journal of Molecular Liquids**, 211, 431–441. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2015.06.067>

Soledad, M., & Basaldella, E. I. (2016). Influence of particle size on the adsorption and release of cephalexin encapsulated in mesoporous silica SBA-15. **Materials Letters**, 181, 331–334. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2016.06.053>

Verlicchi, P., Al Aukidy, M., & Zambello, E. (2012). Occurrence of pharmaceutical compounds in urban wastewater: Removal, mass load and environmental risk after a secondary treatment—A review. **Science of The Total Environment**, 429, 123–155. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2012.04.028>

Watkinson, A. J., Murby, E. J., & Costanzo, S. D. (2007). Removal of antibiotics in conventional and advanced wastewater treatment: Implications for environmental discharge and wastewater recycling. **Water Research**, 41(18), 4164–4176. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.04.005>

Zhang, Z., Grover, D. P., & Zhou, J. L. (2009). Monitoring of Pharmaceutical Residues in Sewage Effluents. In **Handbook of Water Purity and Quality** (pp. 315–342). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374192-9.00014-5>

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE CALCINAÇÃO DE ZNO PARA USO EM FOTOCATÁLISE HETEROGÊNEA

Marco Antonio Cardoso de Souza¹ e Diéury de Lima Carvalho²



Área de Concentração: Engenharias e Segurança

Grupo de Trabalho: Meio ambiente

RESUMO

O presente artigo tem como finalidade determinar a influência da temperatura de calcinação utilizada em catalisadores cerâmicos exerce sobre o processo de fotocatalise heterogênea de efluentes indústrias de papel e celulose seja a mesma devido a mudança de fases no material ou pelo aumento das partículas. Para tanto o presente estudo tem como objetivo calcinar amostras de óxido de zinco (ZnO) a diferentes temperaturas sendo as mesmas de 300, 400, 500^o e 1200^o C e comparar os resultados obtidos após a utilização de cada amostra para o processo de tratamento de efluentes industriais, analisando para tanto os valores obtidos da demanda química de oxigênio, pH, cor, turbidez dos efluentes após os tratamentos.

Palavras-chave: Fotocatálise; óxido de zinco; calcinação.

ABSTRACT

The present article aims to determine the influence of the calcination temperature used in ceramic catalysts exerts on the heterogeneous photocatalysis process of effluent pulp and paper industries be the same due to changes in phases in the material or by the increase of the particles. For this purpose, the present study aims to calcine samples of zinc oxide (ZnO) at different temperatures, being the same as 300, 400, 500 and 1200^o C and to compare the results obtained after the use of each sample for the process of treatment of industrial effluents, analyzing the obtained values of the chemical oxygen demand, pH, color, effluent turbidity after the treatments.

Key-words: Photocatalysis; zinc oxide; calcination.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente uma das grandes questões ambientais existente nas indústrias consiste em se realizar pesquisas e buscar novas alternativas que permitam um tratamento rápido e eficiente de efluentes indústrias antes que os mesmos sejam descartados no meio ambiente obedecendo assim as normas do CONAMA e desta maneira não poluindo as fontes de recursos hídricos existentes no local. E um dos principais fatores que deve ser levado em consideração consiste na redução de parâmetros característicos dos efluentes industriais como é o caso da coloração do mesmo, uma das alternativas consiste em aplicar processos oxidativos avançados

¹ Mestrando em Engenharia e Ciências dos Materiais na UEPG – e-mail: <marko.cardoso@hotmail.com >.

² Mestrando em Engenharia e Ciências dos Materiais na UEPG – e-mail: <dieury_tb@hotmail.com>.

como a fotocatalise heterogênea devido a elevada eficiência do mesmo e seu baixo custo.

1.1. Tratamento de efluentes industriais

Atualmente sabe-se que existe uma elevada geração de águas residuais devido a atividade humana e que a mesma em vários casos ocorre devido ao grande consumo de água em inúmeros processos industriais seja a mesma utilizada para fins de meio de transporte de produtos, solvente, fonte de vapor, para limpeza de maquinas ou produtos entre outros, o que por sua vez necessitam de um tratamento prévio antes de serem descartados no meio ambiente (COSTA, 2009)

Entretanto é de suma importância saber quais são as principais características apresentadas pelo efluente sejam elas físicas, químicas ou biológicas, para a determinação do método que será utilizado em seu tratamento (BELTRAME, 2016)

Existem atualmente inúmeros processos que possibilitam a realização de um tratamento adequado para os efluentes industriais possibilitando uma remoção de componentes e substancias nocivas ao meio ambiente (NETO, 2011)

Portanto é de suma importância a realização de pesquisas e desenvolvimento de tecnologias próprias que tenham como finalidade realizar um tratamento apropriado para os efluentes industriais evitando assim que os mesmos ao serem descartados afetem o meio ambiente. Para tanto no presente artigo será analisado a aplicação da fotocatalise heterogênea com catalisadores calcinados a diferentes temperaturas para se realizar o tratamento de efluentes industriais de papel e celulose.

1.2. Fotocatalise heterogênea

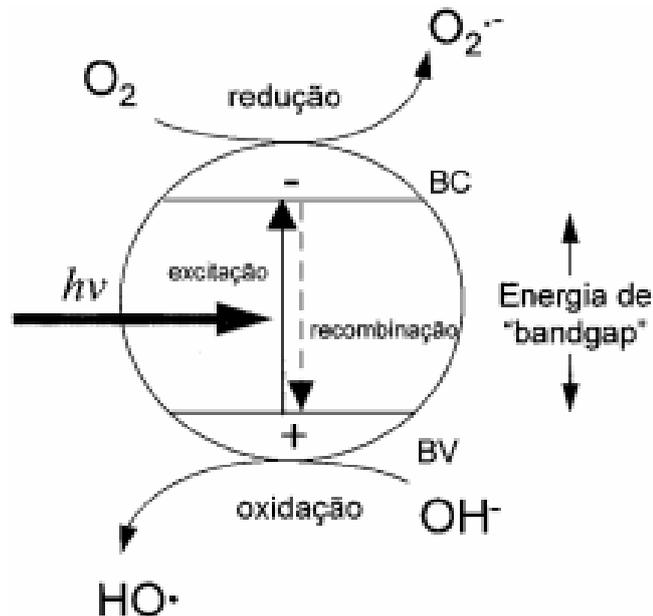
De acordo com NETO (2011) os processos oxidativos avançados (POA's) são tecnologias de tratamento de efluentes industriais que vem sendo estudadas ao longo dos últimos anos, pois as mesmas por sua vez utilizam de mecanismos que promovem uma oxidação e remoção de matéria orgânica presente nos efluentes como é o caso da fotocatalise heterogênea

Para que ocorra o processo fotocatalítico é necessário a existências de alguns fatores tais como o efluente que se deseja tratar com um meio oxidante (O₂), uma determinada fonte luminosa que promovera a liberação do fóton e um catalisador sendo o mesmo na maioria dos casos um óxido semicondutor para a reação como o óxido de zinco ou dióxido de titânio (MARQUES, 2013)

Para Nogueira (1997) para se realizar o processo de fotocatalise heterogênea um fóton é emitido por uma determinada fonte luminosa como uma lâmpada seja de luz visível ou não, e que este elétron por sua vez interaja com os elétrons presentes na banda de valência de um catalisador cerâmico que estará em contato com o efluente que se deseja tratar, fornecendo assim uma energia de gap que por sua vez proporciona um salto quântico do elétron da banda de valência para a banda de condução, dando origem a um par elétron buraco.

Portanto para que o processo fotocatalítico ocorra é imprescindível que exista uma ativação da superfície do catalisador utilizado no processo através de uma incidência de uma fonte luminosa como demonstrado na figura 1.

Figura 1: Esquemática do processo de fotocatalise heterogênea



Fonte: Nogueira, 1997

Após a ocorrer a formação do par de buraco ocorre a geração de radicais hidroxilas livres devido a interação dos óxidos dos catalisadores com a luz emitida sobre os mesmos e ao meio líquido presente no efluente industrial. E que por sua vez por serem fortemente oxidantes interagem com a matéria orgânica proporcionando uma reação de oxi-redução degradando a mesma, possibilitando um tratamento do efluente.

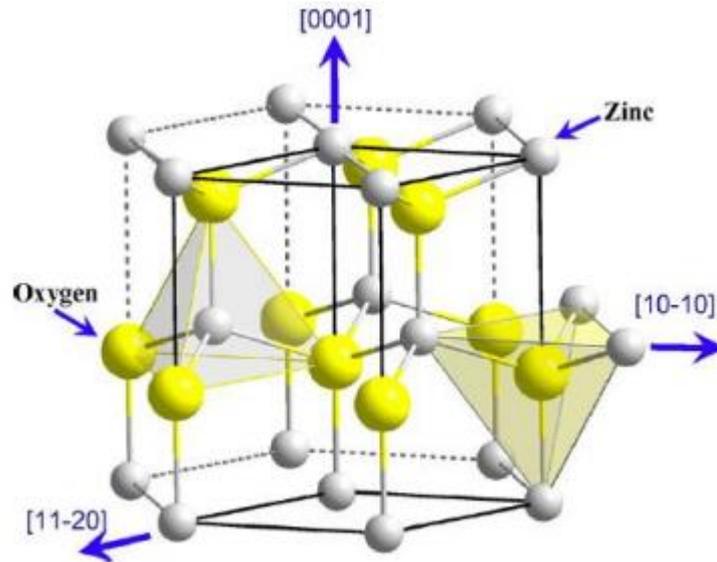
1.3. Óxido de zinco (ZnO)

O óxido de zinco consiste em um material cerâmico amorfo e semicondutor do tipo n encontrado na natureza na zincita, o mesmo possui uma coloração esbranquiçada com band gap de 3,37 eV, possuindo uma estrutura no formato de wurtizita ou de blenda de zinco sendo as mesmas constituída de átomos de Zn e O como mostrado na figura 2, coordenados tetraedricamente sendo amplamente estável (MAYRINCK,2014)

De acordo com COSTA (2014) o óxido de zinco consiste em um material que pode ser aplicado em diversas funções seja para transistores, sensores de gás, sensores químicos, transdutores elétricos, diodos, materiais piezoétricos e como catalisador em processos fotocatalíticos.

Para DIAS (2014) o óxido de zinco é um catalisador que vem sendo amplamente utilizado para a fotocatalise heterogênea devido a suas propriedades fotoelétricas quando exposto a radiação seja visível ou ultravioleta e as ótimas propriedades mecânicas apresentada pelo material.

Figura 2 - Estrutura cristalina hexagonal do ZnO



Fonte: GUALBERTO (2018)

1.4. Efluente industrial

Para a realização do presente estudo o efluente industrial foi coletado em uma indústria produtora de papel e celulose e posteriormente caracterizado para determinação dos parâmetros, Demanda Química de Oxigênio (DQO), cor, pH, turbidez e temperatura para realizar uma caracterização e em seguida uma comparação destes parâmetros para com os obtidos após os tratamentos e assim determinar a eficácia do processo fotocatalítico com óxido de zinco a diferentes temperaturas de calcinação.

1.5. Testes realizados

Realizou-se testes para comprovar a eficiência da aplicação de ZnO a diferentes temperaturas de calcinação no tratamento de efluente indústria com fotocatalise heterogênea analisando para tanto os parâmetros característicos do mesmo como a demanda química de oxigênio (DQO), coloração do efluente, pH, turbidez e temperatura.

A Demanda química de oxigênio representada pela sigla DQO consiste no parâmetro que determina a quantidade de oxigênio presente no efluente industrial que é consumido em um meio ácido e assim proporciona a degradação de matéria orgânica (MO) existente no mesmo

A cor do efluente industrial por sua vez determina a quantidade de matéria orgânica que existe em suspensão no fluente industrial e depende dos componentes químicos que são utilizados no transcórre do processo industrial bem como das substâncias que podem ser obtidas ao longo do mesmo.

De acordo com BELAN (2014) o pH consiste na determinação da alcalinidade ou acidez do efluente tendo seu valor entre 0 a 14, e é obtido através da análise da concentração de íons de hidrogênio existente no meio o que pode influenciar na carga das partículas presente no efluente industrial

Para BELAN (2014) a turbidez determina a transparência existente no efluente de acordo com a quantidade de material que existe em suspensão no meio e que por sua vez dificulta a passagem de luz do meio para o efluente.

2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada no presente artigo consiste em se realizar um estudo sobre o processo de tratamento de efluentes industriais utilizando fotocatalise heterogênea bem como os principais catalisadores utilizados no mesmo.

Para tanto inicialmente foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre as principais características do processo de tratamento de efluentes industriais com fotocatalise heterogênea e a aplicação de ZnO no mesmo.

Posteriormente foi realizada uma calcinação de amostras de óxido de zinco (ZnO) a diferentes temperatura de calcinação sendo as mesmas de 200, 300, 400, 500 e 1200°C e analisar através da medição de parâmetros característicos do efluente industrial como a demanda química de oxigênio, pH, coloração e turbidez e assim determinar qual dos catalisadores utilizados apresenta uma melhor eficiência para a aplicação no tratamento do efluente industrial.

3. DESENVOLVIMENTO

Inicialmente se realizou-se a coleta de uma amostra de efluente industrial em uma industrial de papel e celulose e posteriormente se realizou uma análise dos parâmetros do efluente sendo os mesmos: a demanda química de oxigênio DQO, pH, turbidez, cor e temperatura obtendo assim os valores apresentados na tabela 1 com o objetivo de comparar os mesmos com os resultados obtidos após a realização do tratamento fotocatalítico.

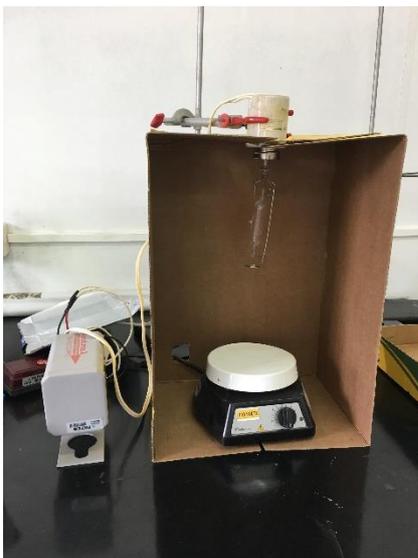
Tabela 1- Resultados obtidos da análise do efluente bruto

Parâmetros	Valores Médios
Cor	3732
DQO	2899,87
Temperatura	24
pH	7,51
Turbidez	63,4

Fonte: Elaborado pelos autores

Posteriormente se realizou a montagem do equipamento necessário para a realização do tratamento do efluente industrial com fotocatalise heterogênea utilizando para tanto um suporte universal com garras, uma lâmpada de luz ultravioleta um agitador com aquecimento, copo de Becker de 500mL e um gerador de hidrogênio e para tapar o mesmo evitando o contato da luz do meio externo uma caixa de papelão.

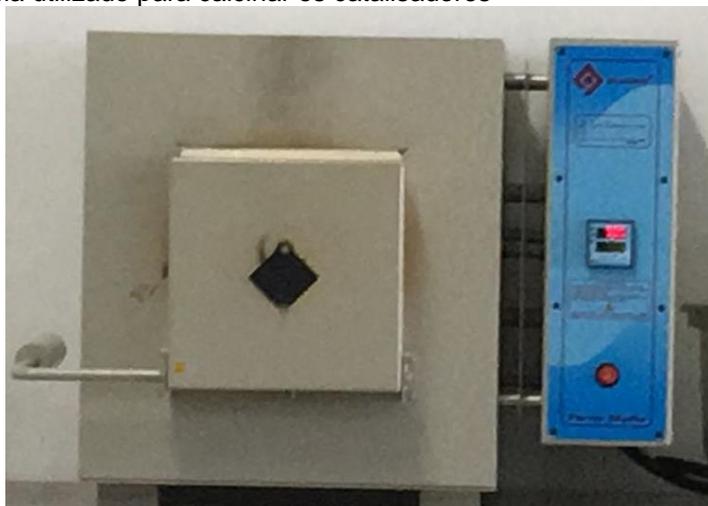
Figura 3 - Montagem do reator para a realização da fotocatalise heterogênea



Fonte: Elaborado pelos autores

Para a realização do preparo dos catalisadores pegou-se uma certa quantidade de óxido de zinco e se calcinou as amostras em um forno mufla conforme a figura 4, por cerca de 4h para completa remoção de matéria orgânica e impurezas a temperaturas de 200, 300, 400 e 500°C

Figura 4 - Forno mufla utilizado para calcinar os catalisadores



Fonte: Elaborado pelos autores

Para se realizar o tratamento do efluente industrial com o processo de fotocatalise heterogênea se acrescentou aproximadamente uma amostra de 500 ml de efluente industrial em um copo de Becker e em seguida adicionou-se uma amostra de oxido de zinco deixando uma concentração de 1g/L e se realizou uma mistura para se obter uma maior homogeneização do catalisador no efluente, posteriormente se ligou a lâmpada de luz ultravioleta para a realização do processo fotocatalítico, durante cerca de 5 horas, as amostras foram coletadas de hora em hora para determinação dos parâmetros analisados, e se repetiu o mesmo procedimentos para cada uma das amostras de catalisador com diferentes temperaturas de calcinação obtendo os valores das tabelas de 2 a 6.

Tabela 2 - Resultado da fotocatalise com ZnO a 200°C

Tempo (h)	Catalisador	Degradação	Remoção de Cor	Temperatura (°C)	pH	Remoção de Turbidez
0	ZnO	0	0	23	7,94	0
1	ZnO	0,095321514	0,104756163	25	7,77	0,057216495
2	ZnO	0,197757141	0,264190782	27	7,5	0,157835052
3	ZnO	0,324693866	0,397888532	32	7,48	0,28556701
4	ZnO	0,397207461	0,497245445	32,8	7,4	0,510206186
5	ZnO	0,477811074	0,58488746	34	7,3	0,638350515
6	ZnO	0,566504705	0,639107717	38	7	0,788865979

Fonte: Elaborado pelos autores

Tabela 3- Resultado da fotocatalise com ZnO a 300°C

Tempo (h)	Catalisador	Degradação	Remoção de Cor	Temperatura (°C)	pH	Remoção de Turbidez
0	ZnO	0	0	20	7,94	0
1	ZnO	0,123995214	0,129667738	23	7,7	0,078969072
2	ZnO	0,212247446	0,282140943	27,4	7,64	0,180412371
3	ZnO	0,328238852	0,503148446	29,4	7,48	0,314020619
4	ZnO	0,457127388	0,598325295	33	7,1	0,54556701
5	ZnO	0,568725495	0,639421222	35,7	7	0,653814433
6	ZnO	0,603430499	0,666396034	37	6,84	0,81185567

Fonte: Elaborado pelos autores

Tabela 4 - Resultado da fotocatalise com ZnO a 400°C

Tempo (h)	Catalisador	Degradação	Remoção de Cor	Temperatura (°C)	pH	Remoção de Turbidez
0	ZnO	0	0	23	7,94	0
1	ZnO	0,147444541	0,142138264	24	7,8	0,062340426
2	ZnO	0,242614324	0,333534298	27	7,6	0,218085106
3	ZnO	0,397207461	0,508073419	29	7,5	0,325531915
4	ZnO	0,536889585	0,628282422	33	7,3	0,561702128
5	ZnO	0,570139351	0,652607181	35	7,1	0,675531915
6	ZnO	0,624121081	0,700999464	35	7	0,840425532

Fonte: Elaborado pelos autores

Tabela 5 - Resultado da fotocatalise com ZnO a 500°C

Tempo (h)	Catalisador	Degradação	Remoção de Cor	Temperatura (°C)	pH	Remoção de Turbidez
0	ZnO	0	0	20	7,94	0
1	ZnO	0,179683917	0,194933012	23	7,7	0,19787234
2	ZnO	0,328238852	0,398981779	29	7,48	0,239361702
3	ZnO	0,467731312	0,511095927	33	7,25	0,380851064
4	ZnO	0,559876822	0,652400857	35	7,1	0,64893617
5	ZnO	0,615748292	0,7086388	37	7	0,744680851
6	ZnO	0,683234076	0,742508039	40	6,84	0,882978723

Fonte: Elaborado pelos autores

Tabela 6 - Resultado da fotocatalise com ZnO a 1200°C

Tempo (h)	Catalisador	Degradação	Remoção de Cor	Temperatura (°C)	pH	Remoção de Turbidez
0	ZnO	0	0	23	7,94	0
1	ZnO	0,147865249	0,157060557	25	7,58	0,145263158
2	ZnO	0,307806902	0,384498928	27	7,51	0,197368421
3	ZnO	0,422705156	0,462789389	29	7,35	0,408
4	ZnO	0,549959136	0,628220793	33	7,29	0,663157895
5	ZnO	0,586188346	0,682457128	35	7	0,705263158
6	ZnO	0,654725902	0,732162379	36	7,1	0,852631579

Fonte: Elaborado pelos autores

Posteriormente para se realizar uma melhor analise e comparação dos valores obtidos para o tratamento do efluente industrial com os diferentes catalisadores utilizados elaborou-se a tabela 7

Tabela 7- Comparação dos valores obtidos para diferentes temperaturas de calcinação de ZnO

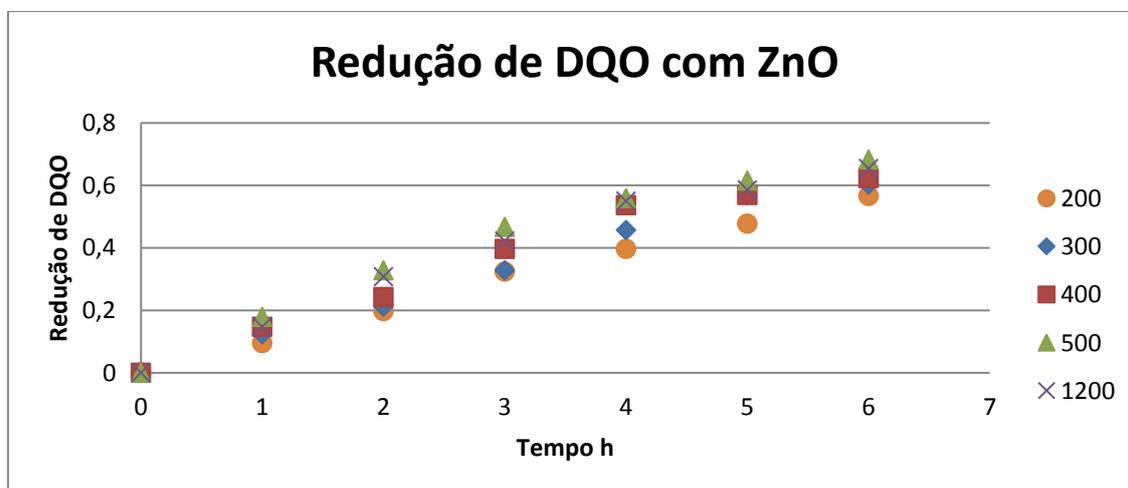
TC	Redução de DQO	ph	Redução de cor	Remoção de Turbidez
200	0,566504705	7,48	0,639107717	0,788865979
300	0,603430499	7,48	0,666396034	0,81185567
400	0,624121081	7,5	0,700999464	0,840425532
500	0,683234076	7,25	0,742508039	0,882978723
1200	0,654725902	7,35	0,732162379	0,852631579

Fonte: Elaborado pelos autores

Através dos valores obtidos na Tabela 7 pode-se concluir que o catalisador de óxido de zinco calcinado a uma temperatura de 500°C obteve um melhor resultado quando comparado para com os demais para todos os parâmetros analisados no decorrer do experimento.

Posteriormente com os valores obtidos após os tratamentos com óxido de zinco elaborou-se os gráficos para uma melhor visualização dos resultados obtidos no decorrer do tratamento do efluente industrial.

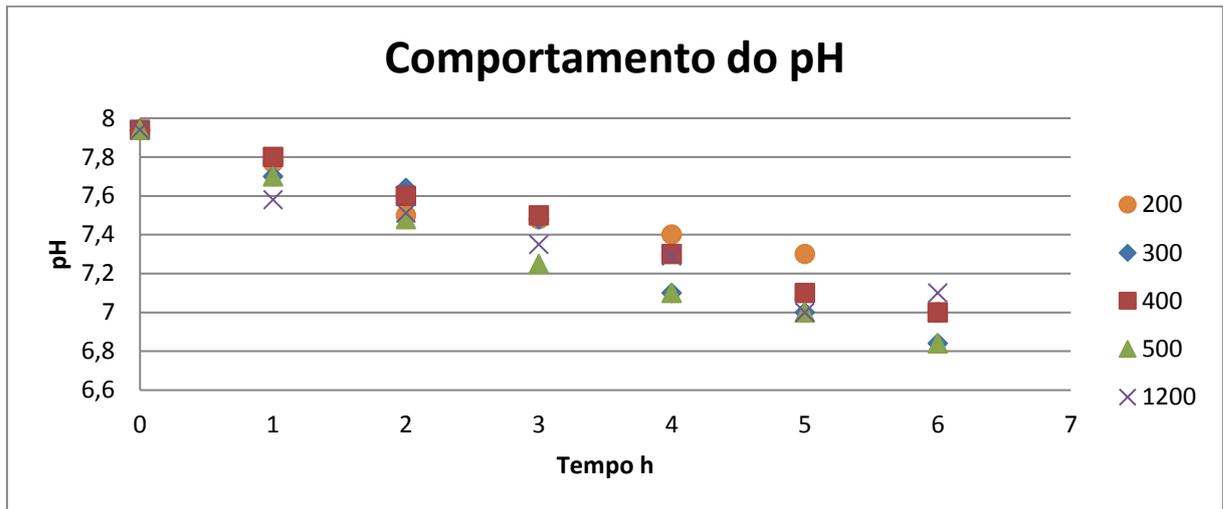
Figura 5 – Análise da Redução de DQO com Oxido de Zinco a diferentes temperaturas de calcinação.



Fonte: Elaborado pelos autores

A figura 5 descreve a redução de demanda química de oxigênio para o efluente industrial de celulose e papel, tendo como resultado mais promissor o catalisador com calcinação a 500°C, aonde pode-se observar que conforme ocorreu uma elevação na temperatura de calcinação ocorreu uma elevação na eficiência do processo entretanto para temperaturas muito elevadas como a de 1200°C a eficiência do mesmo volta a reduzir.

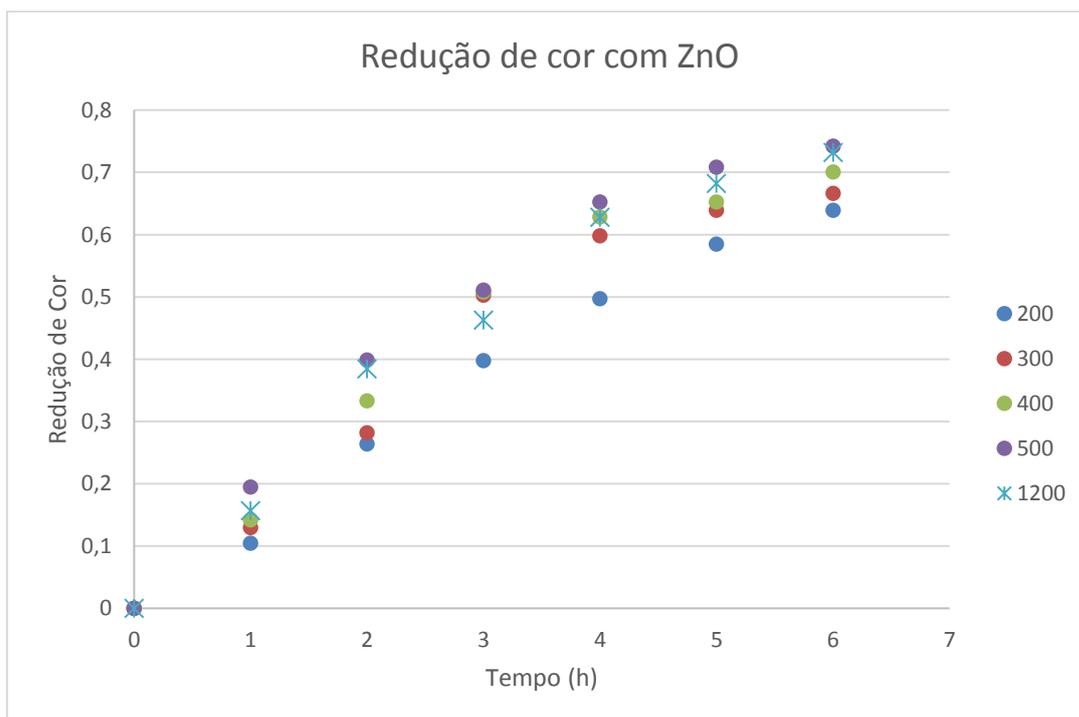
Figura 6 – Análise do comportamento do pH



Fonte: Elaborado pelos autores

Através dos resultados da figura 6 pode-se determinar que a alteração do pH se manteve constante no decorrer do experimento, com valores próximos a neutro.

Figura 7 – Análise da redução da cor utilizando óxido de zinco como catalisador



Fonte: Os autores

Com os dados da figura 7 pode-se determinar que está análise possuiu a maior variação dentre as variáveis analisadas, tendo como resultado uma maior eficiência para a amostra calcinada a 500°C com aproximadamente 74,5% de remoção de cor.

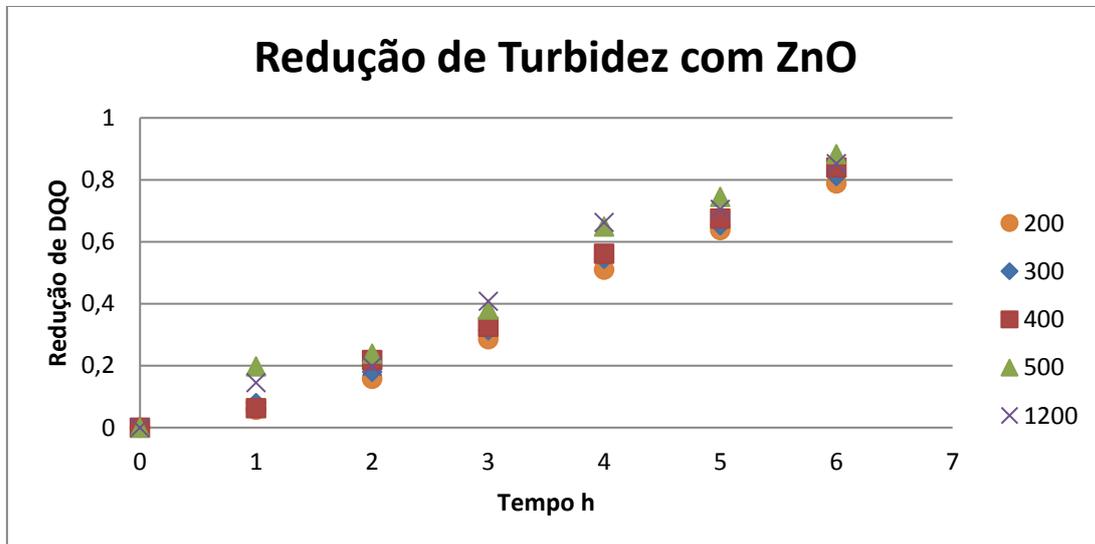
Através da figura 8 pode se observar a redução da coloração do efluente industrial após a aplicação da fotocatalise heterogênea.

Figura 8 - Visualização da redução de coloração do efluente industrial antes e após tratamento



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 9 – Análise da redução de turbidez com oxido de zinco como catalisador.



Fonte: Elaborado pelos autores

Analisando os resultados expressados na figura 9 pode-se determinar que a redução de turbidez foi expressiva para ambos os catalisadores utilizados sobressaindo os de 400°C e 500°C.

4. CONCLUSÃO

Através dos resultados obtidos do tratamento do efluente industrial de celulose e papel utilizando fotocatalise heterogênea com ZnO a diferentes temperaturas de

calcinação pode-se concluir que em ambos os tratamentos obtiveram-se uma elevada eficiência para a remoção da coloração com valores entre 63 a 74% de eficiência e da demanda química de oxigênio com valores de 56 a 65% de eficácia. Ambos os testes obtiveram uma elevada eficiência para remoção de turbidez com valores próximos a 80%, e o pH se manteve constante em aproximadamente 7. Pode-se concluir também que para os tratamentos e o catalisador que proporcionou os melhores resultados foi o da amostra calcinada a 500°C obtendo valores de redução de cor de 74%, para a DQO de aproximadamente 68% e de turbidez em 88%. Sem que houve-se a formação de lodo residual e com baixo custo de processo.

5. REFERÊNCIAS

BELAN, ANDRÉ LUIZ DAMASCENO. **Eletrofloculação aplicada ao tratamento de efluentes têxteis**. Trabalho de conclusão para obtenção de título de Especialista na Pós-Graduação em Gestão Ambiental, UTFPR, Medianeira, PR, 2014

BELTRAME, Thiago Favarini; ET AL. **Efluentes, resíduos sólidos e educação ambiental: Uma discussão sobre o tema**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 20, n. 1,, p. 351–362, Santa Maria 2016

COSTA, ANA PAULA JAVAROTI; ET AL. **Um estudo sobre estações de tratamento de efluentes industriais e sanitários da empresa Dori Alimentos LTDA**. Revista de Graduação UNIVEM v1, ano 2, pág 6-22. Marília São Paulo, 2009

COSTA, BRUNA CAROLINA. **Processamento Sonoquímico de Materiais mesoestruturados de Óxido de Zinco dopados com Terras-raras**. 2014, 108 f. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências, Bauru, 2014.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. **Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005**, 2011, Brasil.

DIAS, J. A; ET AL. **Síntese e avaliação fotocatalítica de óxido de zinco nanoparticulado obtido por moagem de alta energia**. 21º CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Cuiabá, MT, 2014.

GUALBERTO, JESSICA CRISTINA DA SILVA. **Síntese e caracterização de ZnO pelo método Pechini para aplicação em fotocatalise**. Tese de Mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais pela Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM, 2018

MARQUES, RUBIANE GANASCIM; SANATANA, VERONICE SLUSARKI; MACHADO, NÁDIA REGINA CAMARGO FERNANDES. **Estudo da fotodegradação de efluente de indústria de celulose e papel empregando os fotocatalisadores de TiO₂, ZnO E Nb₂O₅**. Periódico eletrônico do alta paulista, Volume 9, Número 11, Tupã, 2013.

MAYRINCK, C. et al; **Síntese, Propriedades e Aplicações de Óxido de Zinco Nanoestruturado**, Revista. Virtual de Química. Vol.6, n.5, p. 1185-1204, Niterói , Rio de Janeiro , 2014.

NETO, Sidney de Aquino; et al. **Tratamento de resíduos de corante por eletrofloculação: um experimento para cursos de graduação em química**. Química Nova, vol 34. São Paulo, 2011

NOGUEIRA, RAQUEL F. P. ET AL. **A fotocatalise heterogênea e sua aplicação ambiental**. Revista Química Nova, Volume 21, n.1, p. 69-72, Campinas, SP, 1997.

ANÁLISE DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE NANOCELULOSE E DA VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE FILTROS DE NANOCELULOSE PARA REMOÇÃO DE COLORAÇÃO DE CORANTES INDUSTRIAIS

Diéury de Lima Carvalho¹, Marco Antonio Cardoso de Souza²,



Área de Concentração: Engenharias e Segurança

Grupo de Trabalho: Tecnologia de produção de celulose e papel.

RESUMO

Nos dias atuais diversas indústrias como a têxtil e de fabricação de tintas ao longo de seu processo produtivo acabam por sua vez gerando uma elevada quantidade de efluentes líquidos devido à grande quantidade de demanda de água existe na mesma seja para produção de produtos ou para limpeza de equipamentos. Em grande parte dos casos tais efluentes apresentam como característica principal uma elevada coloração, e devido à elevada contaminação de meios aquáticos devido ao despejo inadequado de diversas substâncias químicas como os corantes torna-se de suma importância à aplicação de técnicas que proporcionem uma adequada remoção dos mesmos antes que os mesmos sejam descartados em meios aquáticos como rios e lagos, evitando de tal forma uma poluição seja ela física ou visual do meio e até mesmo uma perturbação a vida aquática local. Para tanto o presente artigo tem como finalidade analisar um método para a obtenção de nanocelulose através de polpa celulósica de eucalipto bem como a fabricação de filtros utilizando a mesma com diferentes gramaturas objetivando averiguar a eficiência da utilização de filtros de nanocelulose fabricados para promover a remoção de corante de azul de metileno analisando a diminuição da concentração do mesmo devido às propriedades de adsorção da celulose, além de realizar uma comparação da utilização de filtros obtidos de celulose para com os de nanocelulose, onde pode-se observar que após a filtração do corante os filtros de nanocelulose obtiveram uma maior eficiência se comparados para com os de celulose

Palavras-chave: Nanocelulose; Coloração; Azul de Metileno.

ABSTRACT

Nowadays several industries such as the textile and the manufacture of paints throughout their production process in turn end up generating a high amount of liquid effluents due to the large amount of water demand exists in the same either for the

¹ Mestrando em Engenharia e Ciência de Materiais, da Universidade Estadual de Ponta Grossa – e-mail: <dieury_tb@hotmail.com>.

² Mestrando em Engenharia e Ciência de Materiais, da Universidade Estadual de Ponta Grossa– e-mail: <marko.cardoso@hotmail.com >.

production of products or for cleaning of equipments. In the majority of cases, such effluents have a high coloration as their main characteristic, and due to the high contamination of aquatic environments due to the inadequate disposal of various chemical substances such as dyes, it is very important to apply techniques that provide adequate removal of even before they are discarded in aquatic environments such as rivers and lakes, thus avoiding a pollution whether it is physical or visual of the environment and even a disturbance to local aquatic life. For this purpose, the purpose of this article is to analyze a method to obtain nanocellulose through eucalyptus cellulosic pulp as well as the manufacture of filters using the same with different grammages in order to ascertain the efficiency of the use of nanocellulose filters manufactured to promote the removal of methylene blue dye analyzing the decrease in the concentration of the same due to the adsorption properties of the cellulose, in addition to comparing the use of filters obtained from cellulose to those of nanocellulose, where it can be observed that after the dye filtration the nanocellulose filters obtained a higher efficiency when compared to those of cellulose

Key-words: Nanocelulose; Coloring; Methylene Blue

1. INTRODUÇÃO

Um dos principais processos existentes atualmente para promover uma fibrilação das externas das fibras consiste em se realizar um tratamento mecânico, onde o mesmo proporciona uma delaminação das camadas externas da parede celular (P e S1 camadas) e expondo a camada S2 (YANO e NAKAGAITO, 2004), desta maneira acaba por sua vez elevando uma redução do diâmetro característico dos elementos fibrosos existentes no material ate que os mesmos alcancem após o processo dimensões nanométricas.

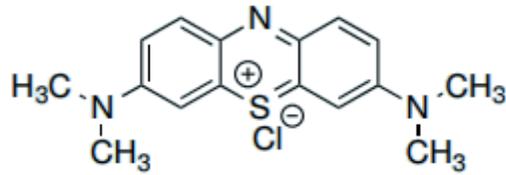
Portanto desta maneira a desfibrilação gerada pela degradação das camadas externas da parede celular resulta na exposição das camadas mais internas, e gera a redução na dimensão das fibras, aumentando assim o seu potencial de ligação e por sua vez proporcionando a formação de uma nano rede.

De acordo com Coutts (2005) o processo mecânico que envolve o fibrilamento pode por sua vez ser dividido em quatro procedimentos principais, sendo eles: a fibrilação interna, que consiste em desenrolar a corda (fibra) que as microfibrilas formam, afrouxando as microfibrilas, a fibrilação externa, em que ocorre a remoção das microfibrilas da corda (fibra), estas passam a se chamar nanofibrilas (CNF), sendo que esta remoção pode destacar ou não da corda (fibra). Desta maneira pode-se observar ambos os fenômenos citados ocorrerem para o eucalipto. O terceiro e quarto mecanismo descrito por Coutts (2005) estão relacionados ao fibrilamento excessivo, em que ele propõe o destacamento da nanofibrila da corda (fibra) e a fibrilação dela mesma, podendo ocorrer a quebra dessas CNF, diminuindo assim a sua razão de aspecto e interferindo nas suas propriedades mecânicas.

1.1. Azul de Metileno

De acordo com Oliveira (2013) o azul de metileno consiste em um corante que vem sendo amplamente utilizado para dar coloração a diversas substancias desde lã, papel, algodão entre outras devido ao seu baixo custo e elevada eficiência de absorção em suportes sólidos, a figura 1 demonstra a estrutura do mesmo.

Figura 1- Estrutura do azul de metileno



Fonte: ALFREDO (2015)

O mesmo é um corante hidrofílico e possui uma elevada solubilidade tanto em água como em meio alcoólico, entretanto pode formar agregados além de poder ser aplicado em processos fármacos por apresentar uma baixa toxicidade. (LIMA,2007)

1.2. Coloração de efluentes industriais

De acordo com ALFREDO (2015) é de suma importância a realização de tratamento de efluentes industriais como os de industriais têxteis ou de produtos utilizados em laboratórios para promover uma proteção ambiental; tornando-se necessário a realização de pesquisas para o desenvolvimento de novas tecnologias que promovam um tratamento adequando de efluentes líquidos industriais (COOPER, 1993)

Para MARCHI (2015) aproximadamente 20% do corante utilizado na indústria têxtil para a confecção de produtos acaba sendo descartado no decorrer do processo produtivo como efluente, sendo necessário a realização de um tratamento do mesmo objetivando uma redução de sua coloração.

Nos dias atuais vários processos vem sendo estudados e analisados para promover uma completa remoção da coloração de efluentes e corantes sejam os mesmos processos físicos como uma filtração ou processos eletroquímicos (OLIVEIRA,2013).

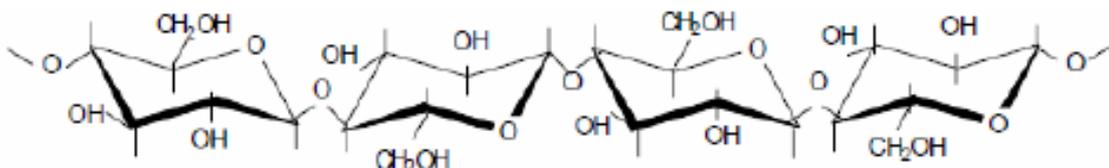
1.3. Nanocelulose

A principal matéria prima utilizada para a obtenção da nanocelulose atualmente seja através de processos químicos ou mecânicos consiste na polpa de celulose branqueada (BUFALINO,2014).

De acordo com SOUZA (2014) a celulose consiste em uma substância geralmente encontrada na parede secundária das células vegetais de maior importância sendo a mesma composta por inúmeras cadeias de cadeias de D-glucose.

A estrutura da celulose é demonstrada na figura 2.

Figura 2 - Estrutura da celulose



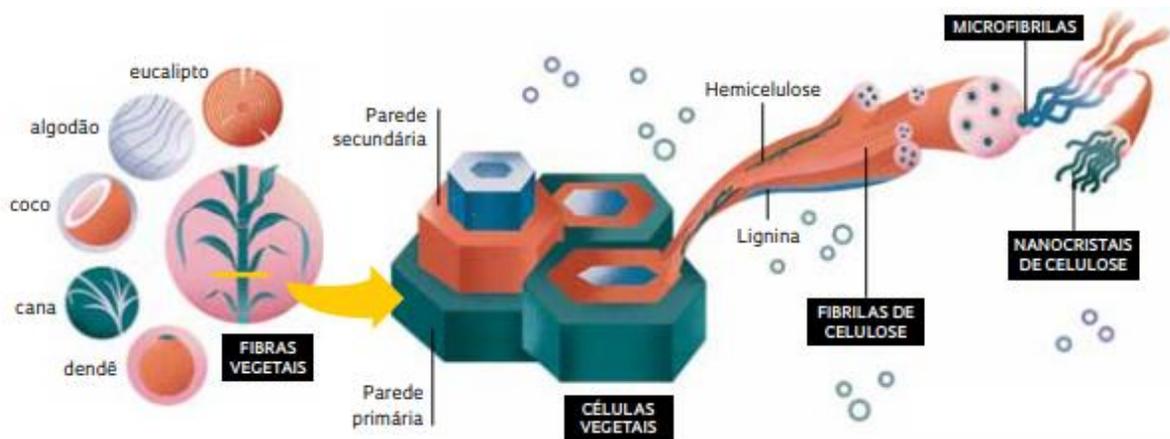
Fonte: Klock, (2005, p. 45).

Para BUFALINO (2014) a obtenção da nanocelulose podem ser utilizados processos químicos que visam a realização de uma hidrólise da celulose para a obtenção de nanocristais ou através da utilização de procedimentos mecânicos que visam uma a realização de um cisalhamento ou refinamento da pasta celulósica para a fabricação de nanofibrilas, entretanto na maior parte dos casos obtendo regiões cristalinas e amorfas na estrutura do material.

Assim a nanocelulose pode ser classificada em dois tipos sendo elas a de nanocristais e de nanofibrilas. (DUFRESNE,2012)

Para a FAPESP (2017) é necessário inicialmente se realizar uma separação da celulose da hemicelulose e outros componentes da madeira para a então conversão da mesma em nanocelulose, podendo ser a mesma obtida de diferentes matérias primas como demonstrado na figura 3.

Figura 3 – Diferentes métodos de obtenção de celulose



Fonte: Adaptado de FAPESP, 2017

A nanocelulose possui estrutura menores de 100 nm e apresenta uma eficiência superior à da celulose convencional quando utilizada em diversos processos (VIEIRA, 2018).

Segundo VIEIRA (2018) mesma por sua vez pode ser amplamente utilizada com diversas finalidades seja em fármacos, produção de embalagens, na construção civil, indústria de papel e celulose, na indústria têxtil entre outros. No presente artigo se objetivou a utilização da mesma para a fabricação de filtros para a remoção da coloração de corante de azul de metileno.

2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada no presente artigo consiste em se realizar um estudo sobre o processo de produção de nanocelulose e posteriormente elaborar a fabricação de filtros com diferentes porosidades, objetivando a utilização dos mesmos para proporcionar a eliminação da coloração do corante de azul de metileno.

Para tanto inicialmente foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre as principais características da nanocelulose e sobre os principais tratamentos utilizados para a remoção de coloração de efluentes e corantes

Posteriormente será realizado a produção da nanocelulose utilizando polpa celulósica, e a caracterização da mesma com um microscópio eletrônico de

varredura (MEV) para a determinação da sua morfologia e então a elaboração de filtros utilizando diferentes gramaturas para averiguar a influência das mesmas durante o processo de remoção da coloração do corante de azul de metileno.

3. DESENVOLVIMENTO

Para a realização do experimento inicialmente se diluiu a amostra de corante de azul de metileno nas concentrações de 1 ppm, 0,75 ppm, 0,5 ppm, 0,25 ppm e 0,05 ppm, as mesmas foram analisadas no espectrofotômetro se se obtiveram os valores de absorvância demonstrados na Tabela 1.

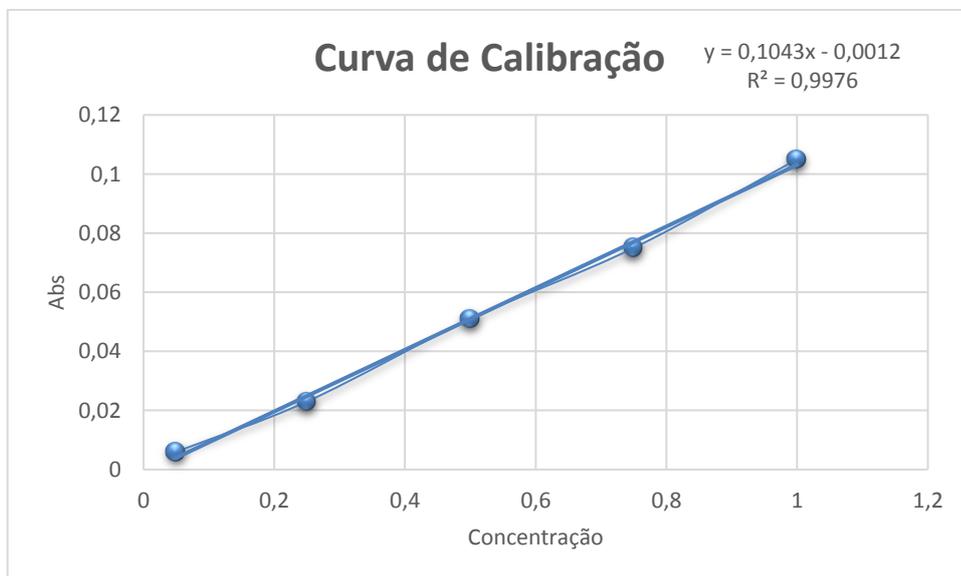
Tabela 1 - Absorbância das amostras de corante

[Corante] (ppm)	Abs
1	0,105
0,75	0,075
0,5	0,051
0,25	0,023
0,05	0,006

Fonte: Os autores

Através dos valores obtidos a partir das análises se elaborou a curva de calibração do corante conforme demonstrado na figura 4.

Figura 4 - Curva de calibração do corante de azul de metileno



Fonte: Os autores

Posteriormente se realizou 5 testes para analisar a remoção do corante de azul de metileno utilizando para tanto uma adsorção do mesmo em polpa de celulose com concentrações de 1, 10, 20, 40, 80g de celulose/l durante aproximadamente 6 horas.

A morfologia da polpa branqueada de celulose de Eucalyptus sp e da nanocelulose nanofibrilada obtida via moagem a partir de 15 passadas em moinho

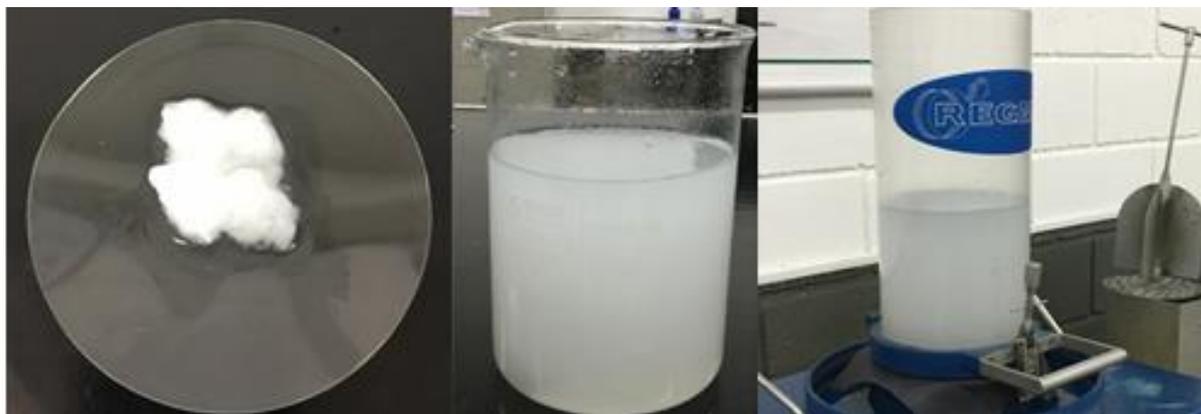
foram examinadas em um microscópio eletrônico de varredura (Tescan, VEGA 3, República Checa). Todas as amostras foram recobertas com ouro e examinadas sob uma tensão de aceleração de 15 kV e 20 kV e ampliação variada.

As polpas branqueadas de celulose de *Eucalyptus* sp, fornecido pela Suzano, foram picotadas em tamanhos pequenos e posteriormente foram dispersas em água destilada, a uma concentração de 4% m/v. Essa concentração foi estabelecida e tomada como concentração máxima a ser utilizada na micronização, a fim de possibilitar a fibrilação da nanocelulose. A suspensão foi colocada no moinho, o qual foi ajustado para operar a uma rotação de 1500 rpm, com espaçamento entre as pedras ajustado para modo de contato. A celulose foi moída durante 15 passagens até que se obtivesse uma suspensão com aspecto de gel homogêneo.

As nanofibras de celulose foram obtidas pelo método de desfibrilação mecânica em moinho micronizador, que consiste de duas pedras de moagem em contato pelas quais o material impulsionado pelas forças centrípetas é forçado a passar, ocasionando a fibrilação da polpa. O equipamento utilizado foi um moinho coloidal Super Masscolloider Masuko Sangyo modelo MKCA6-2J.

Para a formação da folha para a fabricação do filtro de nanocelulose foi utilizado uma formadora de folha REGMED 2002, nos laboratórios da FATEB (Faculdade de Telêmaco Borba), onde inicialmente foi dissolvida a nanocelulose em água destilada utilizando para tanto uma proporção adequada para a formação de gramaturas específicas das folhas e posteriormente a mesma é acrescentada na mesa formadora como mostrado na figura 5, durante determinado tempo utilizando um filtro de tecido para reter a nanocelulose na mesa formadora, posteriormente foi realizada a formação de folhas de nanocelulose combinadas com carvão ativado.

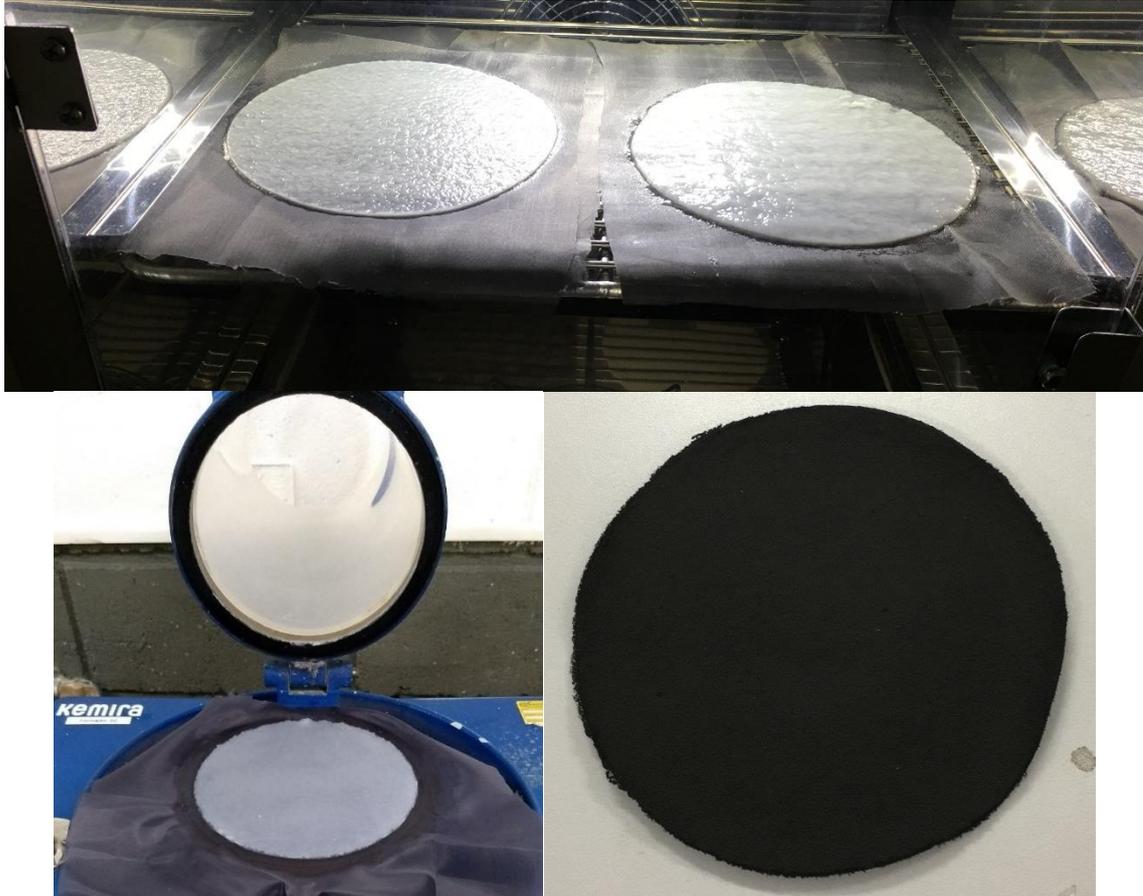
Figura 5 – Formação da folha de nanocelulose



Fonte: Os autores

Após a obtenção da folha de nanocelulose com a mesa formadora, a mesma foi seca em estufa por aproximadamente 24 horas a temperaturas de 35 a 45°C conforme é mostrado na figura 6.

Figura 6 – Remoção da folha da formadora de folha, secagem da folha formada em estufa e folha formada com adição de carvão ativado.



Fonte: Os autores

Após a folha ser removida da estufa, foi acomodada a mesma em temperatura ambiente para assim após 2 horas realizar o procedimento de filtragem.

Para realizar o experimento inicialmente foi acomodada a folha dobrando-a para encaixá-la no funil como mostrado na figura 7, após foi iniciado o procedimento com as seguintes etapas:

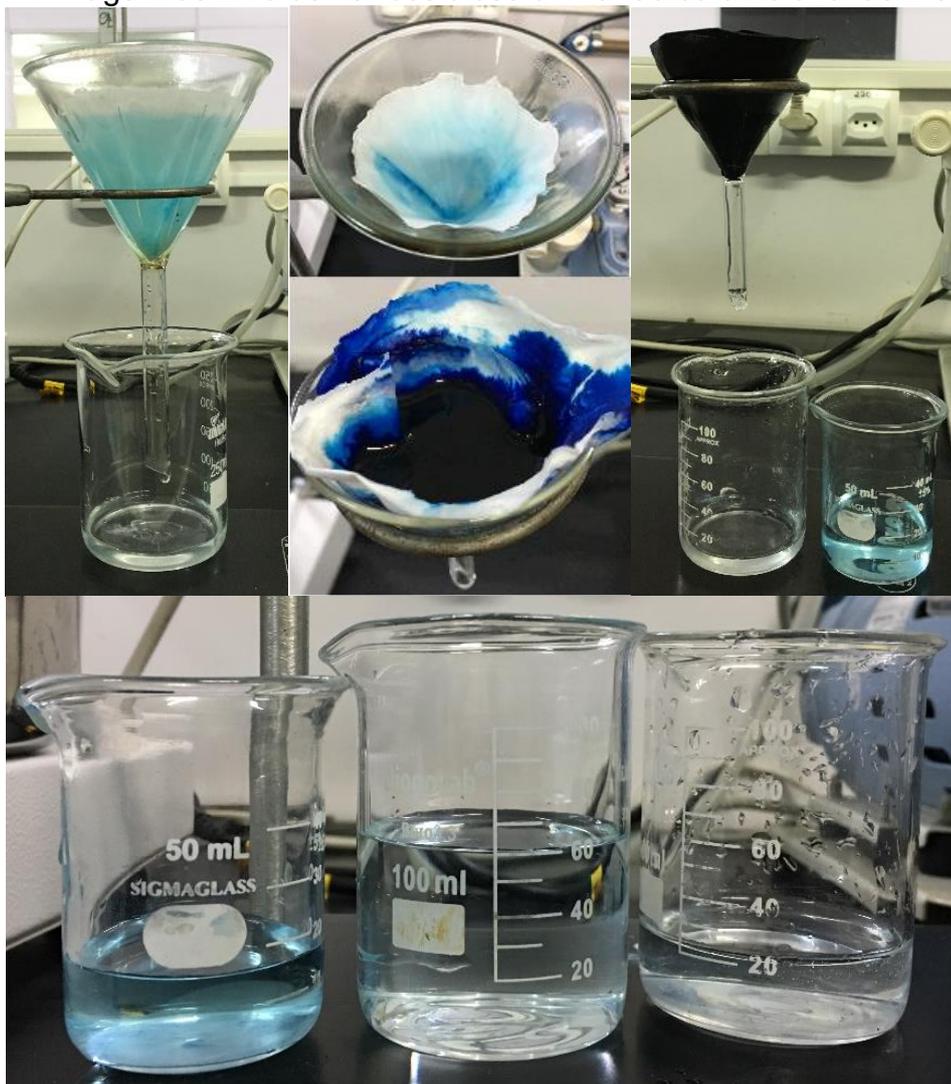
1º Foi marcado o tempo necessário para filtragem com os filtros obtidos com gramaturas de 30,40 e 50 g/m².

2º A filtragem foi realizada com corante de azul de metileno em concentração de 1 ppm.

3º Todas as amostras após realizar a filtragem de todos os filtros foi submetida para determinar a absorbância e posterior conversão da mesma para a concentração utilizando a curva de calibração.

4º Foi realizado também o mesmo procedimento de filtragem para efetuar a determinação da quantidade máxima que o filtro suporta para realizar a filtragem utilizando concentrações maiores do corante de azul de metileno.

Figura 7 – Filtragem de filtro de nanocelulose utilizando corante azul de metileno



Fonte: Os autores

Após a realização do experimento de filtragem pode-se observar que ambos os filtros tanto de nanocelulose pura como a misturada com carvão ativado apresentaram boa eficiência para remoção do corante azul de metileno.

Posteriormente foi realizada uma caracterização da nanocelulose analisando o nº Kappa, consistência, pH e condutividade.

Realizou-se uma caracterização da amostra de nanocelulose e se obtiveram os resultados apresentados na tabela

Tabela 2 - Características da nanocelulose

Características da Nanocelulose		
Nº Kappa	-	1,39
Consistência	%	2,68
Condutividade	$\mu\text{S}/\text{cm}$	38,17
pH	-	7,3
Coar.Grav	mg/100m	5,4
Lc (l)	mm	0,675
Lc(w)	mm	0,784
Número de fibras por grama	NF/g*10 ⁶	26,686

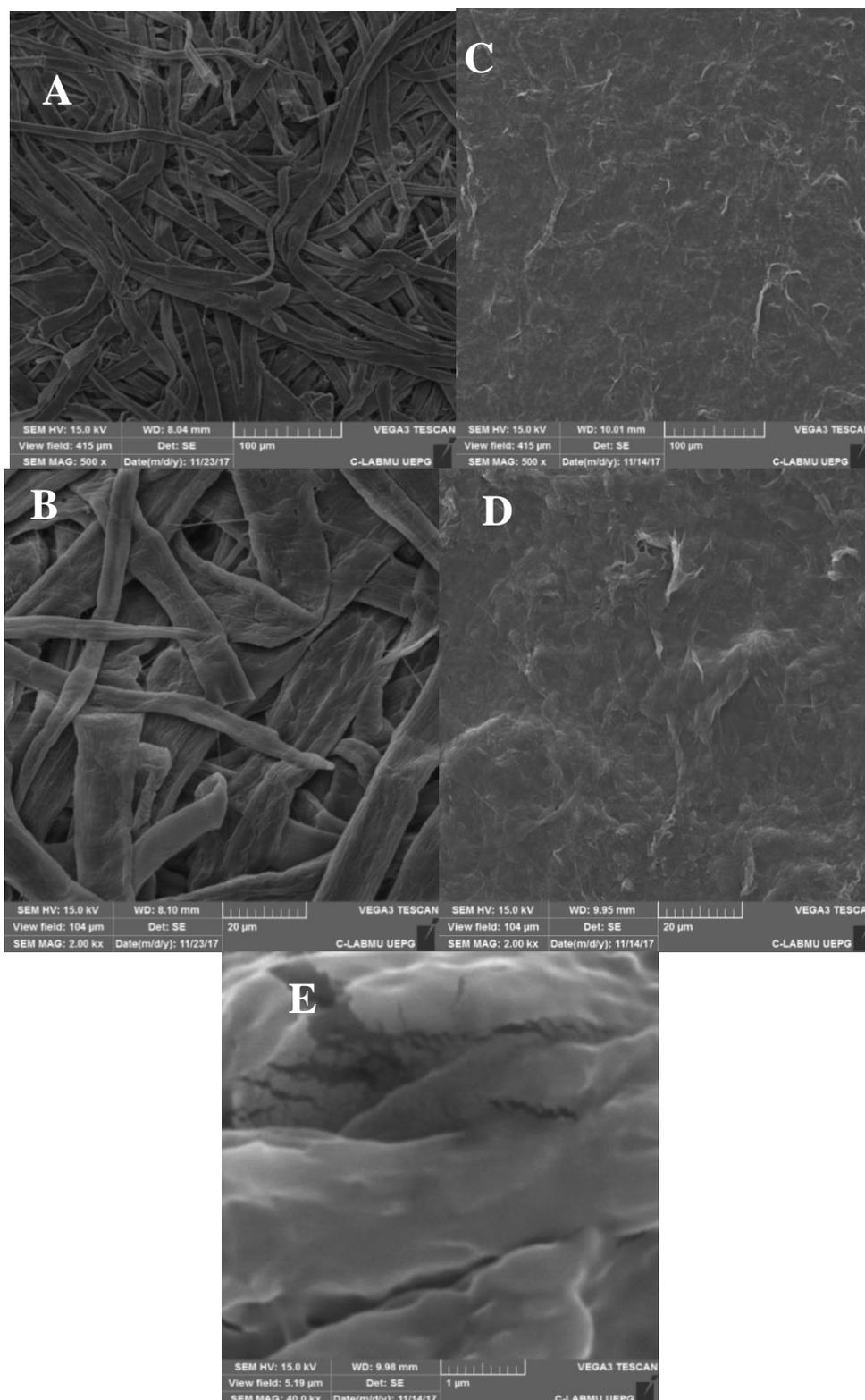
Fonte: Os autores

A morfologia da nanocelulose é apresentado pela figura 8 onde são demonstradas as imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) das fibras da polpa branqueada de *Eucalyptus* sp. que foram utilizadas para obtenção de celulose nanofibrilada.

Pode-se observar que através da análise das microscopias eletrônicas de varredura obtidas durante a realização da caracterização do material verificam-se que as fibras de *Eucalyptus* sp., apresentaram por sua vez diâmetros na escala micrométrica, ou seja para ser transformada em celulose nanofibrilada (CNF) foi necessário que durante o processo de desfibrilação mecânica as fibras sofressem uma redução de diâmetro de dezenas de micrômetros para dezenas de nanômetros.

Nota-se que as fibras celulósicas da polpa branqueada de *Eucalyptus* sp. , apresentaram um aspecto de intenso entrelaçamento entre si. E nas figuras 8 C, D e E pode-se visualizar o processo de degradação sofrida pelas fibras devido a realização da moagem das mesmas, e assim apresentam uma estrutura mais heterogênea e dispersa, isso porque uma grande quantidade de fibras foi quebrada durante o processo, e não há grande entrelaçamento entre elas.

Figura 8 - A) MEV 500 x – Polpa branqueada de celulose (Eucalyptus sp). B) MEV 2000 x – Polpa branqueada de celulose (Eucalyptus sp). C)– MEV 500 x – Nanocelulose. D)– MEV 2000 x – Nanocelulose. E)– MEV 40.000 x – Nanocelulose.



Fonte: Os autores

Após a realização dos procedimentos de moagem e caracterização do material, se realizou um teste de adsorção de azul de metileno onde se promoveu

uma adição de celulose em um meio com o corante têxtil para constatar remoção do corante azul de metileno, e posteriormente foi realizado a verificação da absorbância das amostras retiradas em tempos determinados como mostrado na tabela 3.

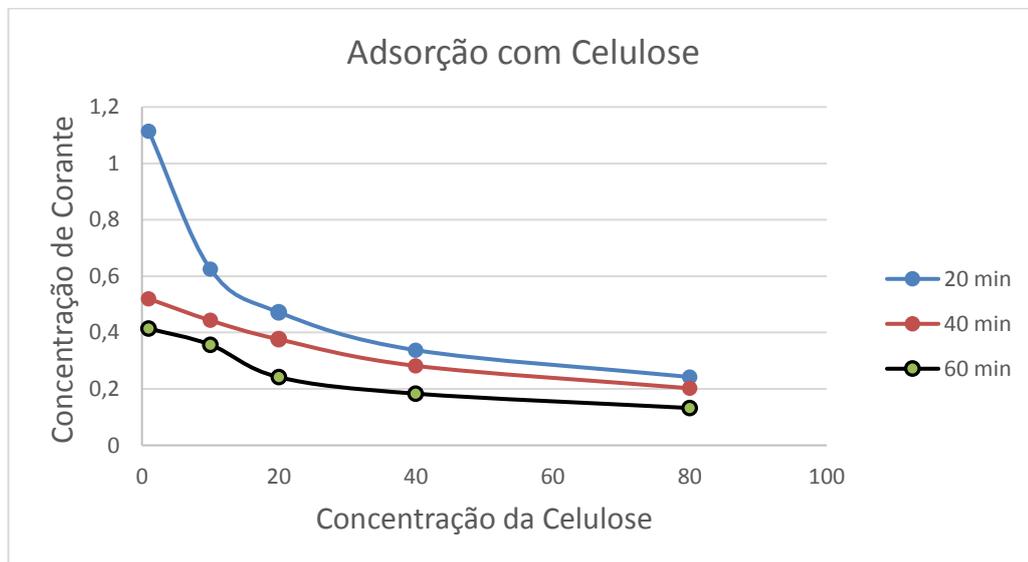
Tabela 3 – Valores da absorbância medida na adsorção de Azul de Metileno com Celulose

Tempo	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
	1g/l	10g/l	20g/l	40g/L	80g/l
20min	0,115	0,064	0,048	0,034	0,02408
40min	0,053	0,045	0,038	0,0282	0,0199
1h	0,042	0,036	0,024	0,0179	0,0126
2h	0,043	0,034	0,037	0,0275	0,0195
3h	0,051	0,038	0,034	0,0254	0,018
4h	0,043	0,037	0,044	0,0327	0,0231
5h	0,049	0,026	0,03	0,0222	0,0157
6h	0,048	0,044	0,045	0,0339	0,024

Fonte: Os autores

Após com o auxílio da curva de calibração da figura 4 se converteu os valores de absorbância para concentração conforme mostrado na Figura 9.

Figura 9 - Remoção da concentração de corante com polpa de celulose



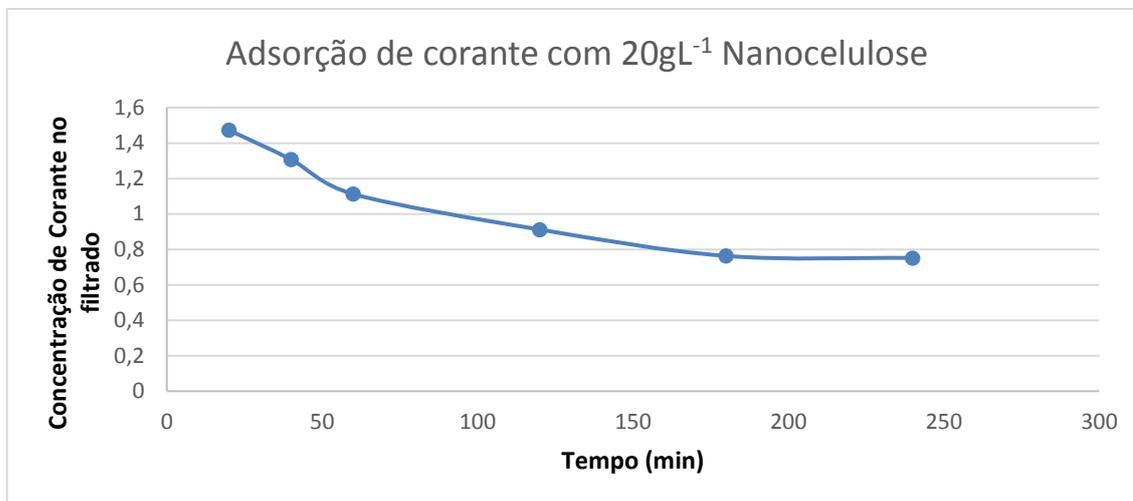
Fonte: Os autores

Observou-se que a partir do tempo de 1 hora, ocorre a tendência de estabilização da concentração de corante não importando o aumento na quantidade de celulose. Também se observou uma diminuição da concentração de corante para um mesmo tempo com o aumento da quantidade de celulose.

Posteriormente se realizou o mesmo procedimento de adsorção do corante utilizando nanocelulose com uma concentração de 20 g/l durante 6 horas, e se

mediu os valores de absorvância Estes valores foram convertidos para os de concentração se obteve a Figura 10.

Figura 10 - Curva de remoção de corante com nanocelulose por adsorção



Fonte: Os autores

Analisando os resultados obtidos ao longo do experimento pode-se observar que com o passar do tempo ocorre uma diminuição na concentração do corante no filtrado.

Posteriormente se efetuou a elaboração de quatro filmes de nanocelulose utilizando 20g/m²; 30g/m²; 40g/m² e 50g/m² para serem usados como filme e um filtro com uma mistura de nanocelulose com carvão ativado com 50g/m²

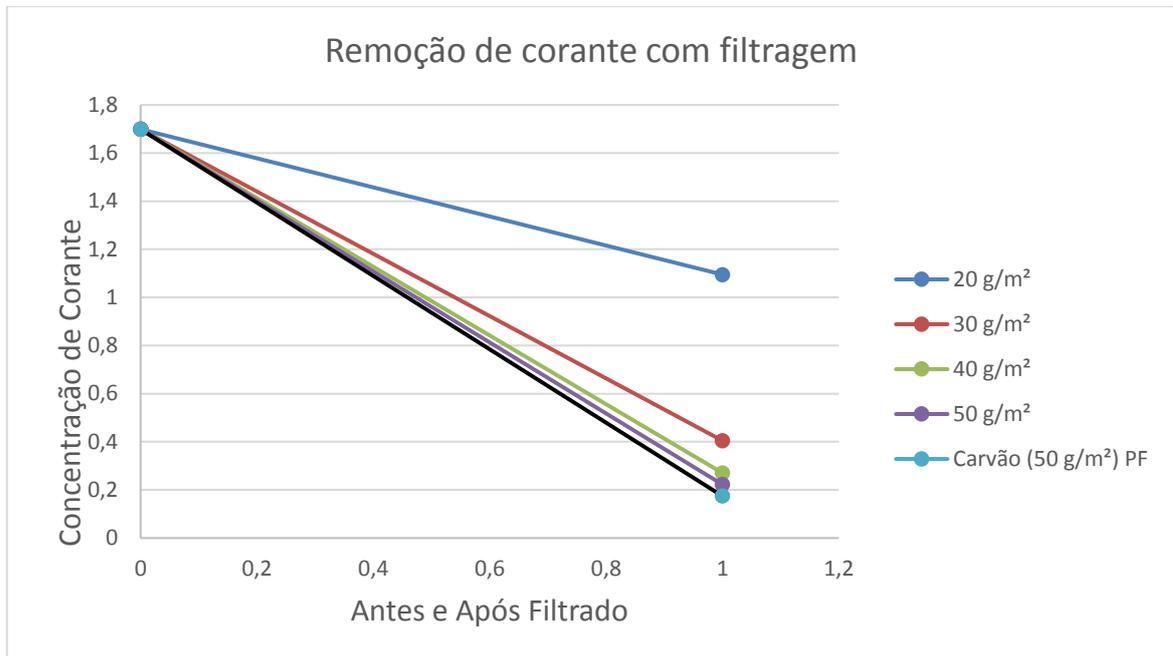
Então se mediu a absorvância do corante antes e após cada filtração com cada um dos filtros posteriormente os valores de absorvância foram convertidos para os de concentração e se elaborou a Tabela 4 e com seus valores se obteve a Figura 11.

Tabela 4 - Análise da Remoção de Corante com Nanocelulose

	20 g/m ²	30 g/m ²	40 g/m ²	50 g/m ²	Carvão (50 g/m ²)
Antes	1,698945	1,698945	1,698945	1,698945	1,698945
Após	1,094918504	0,404602	0,270374	0,222435	0,174496644

Fonte: Os Autores

Figura 11 - Remoção da concentração de corante utilizando cada um dos filtros de nanocelulose



Fonte: Os autores

Através da análise dos resultados obtidos para as filtrações pode-se concluir que com o aumento da gramatura de cada um dos filtros de nanocelulose ocorre uma elevação na taxa de remoção de corante, diminuindo assim a concentração do mesmo. Entretanto por sua vez com o aumento da gramatura do filtro se eleva o tempo necessário para que ocorra a filtração do corante.

E a maior eficiência foi observada para o filtro composto de nanocelulose e carvão ativado. Após a realização dos experimentos se realizou uma determinação da maior concentração de corante de azul de metileno que poderia ser utilizado no filtro para o mesmo não se saturasse, onde foi verificado que para a utilização de concentrações maiores que 10 ppm começa-se a apresentar uma saturação do filtro e para valores acima de 20 ppm não foram possíveis obter filtração.

Posteriormente foi realizado o experimento para determinar a quantidade de tempo necessária para ocorrer a filtração do corante de azul de metileno através do filtro de nanocelulose, onde os resultados são apresentados na tabela 5

Tabela 5 – Tempo necessário para realizar a filtração do corante azul de metileno em nanocelulose

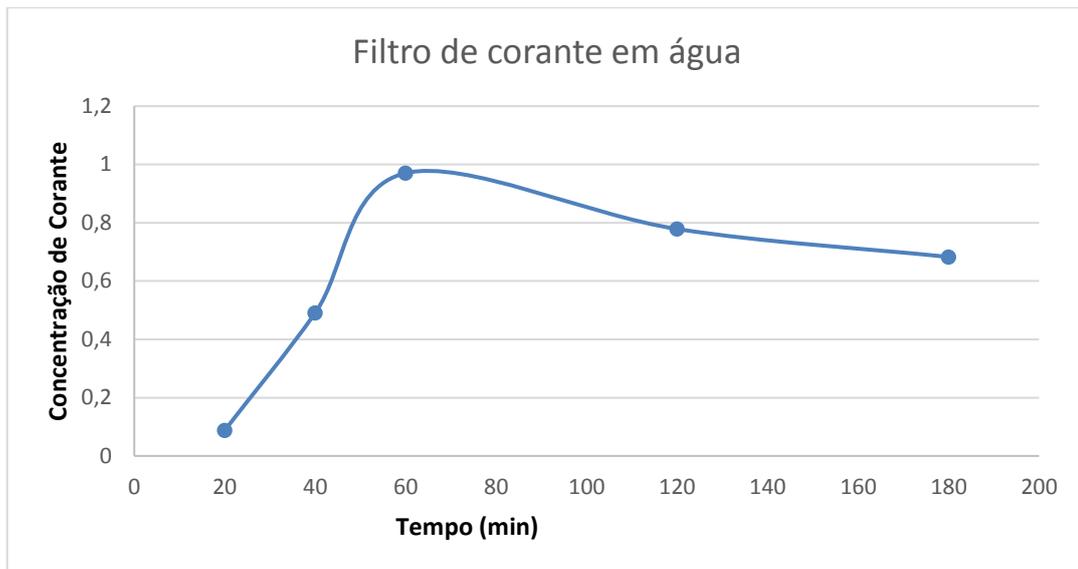
	g/m ²	min	min
Amostra	Filtro	Tempo 1 gota	Tempo 5ml
1	20	3	29
2	30	9	63
3	40	15	105

Fonte: Os autores

Através dos resultados obtidos pode observar que o filtro de nanocelulose de menor gramatura será o que possui menor tempo de escoamento, durante a filtragem.

Posteriormente se realizou um experimento para determinar a remoção da concentração de corante impregnado no filtro de celulose, onde o mesmo foi colocado em água destilada para analisar a remoção de corante do mesmo ao longo do tempo, e com os valores obtidos se elaborou a Figura 12.

Figura 12 - Remoção de Corante em filtro de nanocelulose submerso em água



Fonte: Os autores

Através da análise do mesmo pode se constatar que durante a primeira hora ocorreu uma eliminação do corante do filtro para o meio com água, entretanto com o passar do tempo devido as propriedades de adsorção do material o mesmo começou a adsorver novamente o corante que foi liberado no meio.

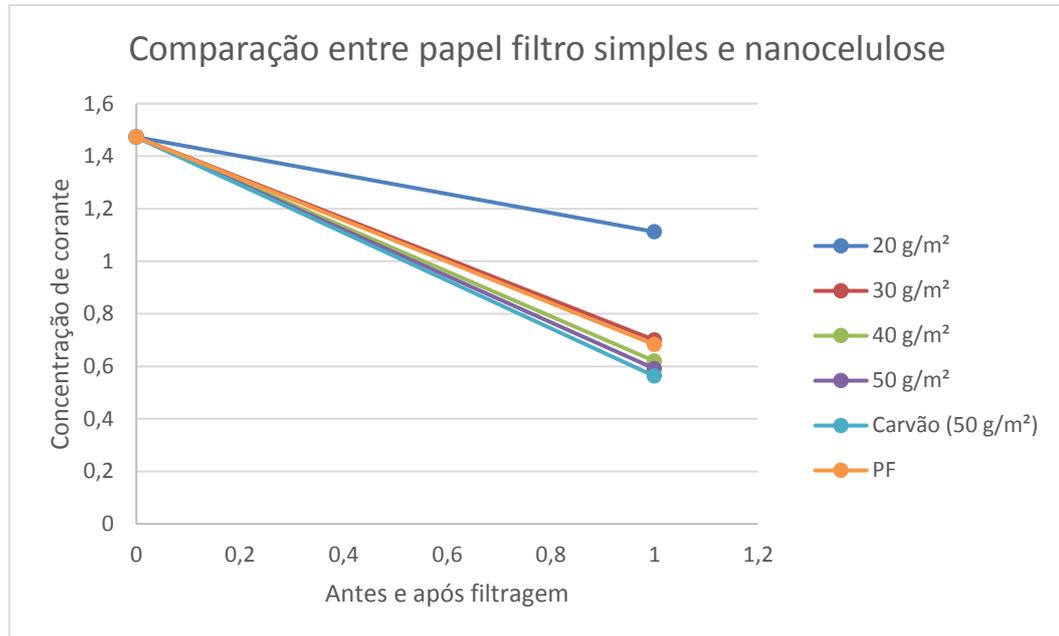
Em seguida foi realizado uma comparação da filtragem de um filtro de papel normal com o filtro de nanocelulose realizado, onde na Tabela 6 e figura 13 apresenta os resultados encontrados.

Tabela 6 – Concentração de filtrados para comparação de filtro simples e nanocelulose

Gramatura do filtro	20 g/m ²	30 g/m ²	40 g/m ²	50 g/m ²	Carvão (50 g/m ²)	Papel Filtro (80 g/m ²)
Concentração antes do filtrado	1,698945	1,698945	1,698945	1,698945	1,698945	1,698945
Concentração após filtrado	1,094918504	0,404602	0,270374	0,222435	0,174496644	0,375839

Fonte: Os autores

Figura 13 – Remoção da concentração do corante azul de metileno para comparação de filtro simples celulose para nanocelulose.



Fonte: Os autores

Após a realização da comparação entre os filtros obtidos com nanocelulose para com o de celulose foi possível determinar que o filtro de nanocelulose, tem uma eficiência de aproximadamente 267% maior para quando comparando com o filtro de celulose de 80 gramas em comparação com a concentração de azul de metileno removida do meio.

4. CONCLUSÃO

Pode se concluir com a análise da microscopia eletrônica de varredura que através da mesma tornou-se possível determinar a estrutura do material onde se constatou que a celulose possui as fibras de celulose bem entrelaçadas entre si, enquanto que a nanocelulose possui uma maior homogeneidade na superfície do material.

Através da realização do teste de adsorção de do corante em polpa de celulose pode-se observar que o mesmo possui uma eficiência ate aproximadamente 1 hora de reação.

Através da realização da análise da eficiência da remoção do corante de azul de metileno utilizando filtro de nanocelulose pode-se concluir que o mesmo possui uma elevada eficiência para a remoção do corante de azul de metileno se comparado para com a celulose, onde com a utilização do mesmo foi possível proporcionar uma elevada remoção da concentração do corante, e o filtro que apresentou uma maior eficiência para a remoção de corante de azul de metileno foi o filtro de nanocelulose misturado com carvão ativado que reduziu a concentração de corante no meio para 0,17 ppm aproximadamente, entretanto observou-se que

para valores muito elevados de concentrações de corante acima de 20 ppm ocorre uma estagnação do filtro de nanocelulose.

Pode-se observar que quanto maior foi a gramatura do filme de nanocelulose maior for a eficiência para a remoção de corante de azul de metileno, entretanto com o aumento da gramatura ocorre uma elevação do tempo necessário para a filtragem de um mesmo volume de amostra.

Para a análise de remoção de corante adsorvido na superfície do filme de nanocelulose em água pode-se constatar que durante o início do processo ocorre uma remoção do corante para o meio, mas após um certo período de tempo o filtro começa o processo de adsorção novamente removendo o corante do meio.

5. REFERÊNCIAS

BUFFALINO, LINA. **Filmes de nanocelulose a partir de resíduos madeireiros da Amazônia**, Tese de doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, 2014

COOPER, P. **Removing colour from dyehouse waste waters a critical review of technology available**, Journal of the Society of Dyers and Colourists, V109, n. 3, p.97-100, 1993

COUTTS, R. S. **A review of Australian research into natural fibre cement composites. Cement and Concrete Composites**, v. 27, n. 5, p. 518-526, 2005.

DUFRESNE, ALAIN. **Nanocellulose: from nature to high performance tailored materials**. Berlin, Boston: De Gruyter. Retrieved, 2012.

FAPESP – Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo. **Las alternativas de una fibra vegetal**. Edición 253, 2017. Disponível em: <http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2017/03/070-073_Nanocelulose_253.pdf>. Acessado em 07/09/2018 as 15:57.

KLOCK, UMBERTO; ET AL. **Química da madeira**, 3ª Edição, Curitiba, PR. 2005.

LIMA, ADRIANA; ET AL. **Efeito do solvente sobre as propriedades espectroscópicas do azul de metileno**, Artigo apresentado no VII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos, SP, 2007.

MARCHI, H.F.DE; ET AL. **Estudo da adsorção do corante básico azul de metileno por cascas de eucalyptus grandis lixiviadas**, Artigo apresentado no XI Congresso de engenharia química e iniciação científica; Campinas, São Paulo, 2015.

SOUZA, M.A.C. DE. Substituição da antraquinona por surfactantes na polpação. Monografia de conclusão de curso em Engenharia Química – FATEB, Telêmaco Borba,PR, 2014.

OLIVEIRA,S.P; ET AI. Avaliação da capacidade de adsorção do corante azul de metileno em soluções aquosas em caulinita natural e intercalada com acetato de potássio, Revista Cerâmica v. 59, p.338-344,2013.

VIEIRA, ANA CAROLINA. **Produção de nanocelulose a partir da casca de eucalipto iodegradada por “pycnopus sanguineus”**, Dissertação de mestrado em Agronomia, UNESP, Botucatu, São Paulo, 2018.

YANO H.; NAKAGAITO A. N. **The effect of morphological changes from pulp fiber towards nano-scale fibrillated cellulose on the mechanical properties of high-strength plant fiber based composites**. Applied Physics A – Materials Science & Processing. n.78, p. 547–552, 2004.

APLICAÇÃO DE ÓXIDO DE GRAFENO PARA REMOÇÃO DO HERBICIDA DIURON DE ÁGUA CONTAMINADA

Rodrigo de Souza Antônio¹, Ana Carolina Sestito Guerra², Aline Takaoka Alves Baptista³, Rosângela Bergamasco⁴ e Angélica Marquetotti Salcedo Vieira⁵



RESUMO

O presente trabalho apresenta o estudo de utilização do óxido de grafeno (OG) como material adsorvente para a remoção do herbicida diuron de meio aquoso. Foi investigado a influência da massa de adsorvente e do pH inicial da solução de diuron na capacidade de adsorção, sendo possível constatar que o aumento da capacidade de adsorção é favorecido em menores massas e em pH neutros ou básico. Outrossim, foi realizado a investigação do tempo de contato entre solução de diuron e o adsorvente sendo possível constar o aumento da capacidade de adsorção e remoção de contaminante com o tempo.

Palavras-chave: Adsorção; Óxido de Grafeno (OG); Diuron.

ABSTRACT

In the present work it is described and illustrated the application of Graphene Oxide (GO) for remove emerging contaminants diuron of water. This work was done study of influence of mass and pH of solution diuron in capacity of adsorption, being possibly to verify with the best condition is in pH neutral or basic and less mass. Also, was research the influence of interaction time of the Graphene Oxide and contaminant, therefore emphasize increase capacity of adsorption and remove of diuron.

Key-words: Adsorption; Graphene Oxide; Diuron.

1. INTRODUÇÃO

Á água é um líquido essencial para a vida, pois é responsável por promover o ciclo hídrico do planeta, funciona como regulador térmico evitando grandes amplitudes de temperaturas e participa de um grande número de reações que permitem que a vida exista em nosso planeta. Contudo, esse líquido essencial para os seres vivos tem despertando atenção da comunidade científica por se tratar de um grande receptor de substâncias químicas que podem ser prejudiciais aos seres vivos mesmo em pequenas quantidades, essas substâncias por sua vez são denominadas de contaminantes emergentes (RODRIGUEZ-NARVAEZ et al., 2017).

¹ Graduado em Engenharia Química, mestrando em Engenharia Química pela UEM – e-mail: z.rodrigo.antonio@gmail.com

² Graduada em Engenharia Química, mestranda em Engenharia Química pela UEM – e-mail: anasestitoguerra@gmail.com

³ Graduada em Engenharia de Alimentos, doutora em Ciência de Alimentos pela UEM – e-mail: alinetakaoka_17@hotmail.com

⁴ Mestre em Ciência de Alimentos, doutora em Engenharia Química pela UNICAMP e professora do programa de pós – graduação em Engenharia Química da UEM – e-mail: rbergamasco@uem.br

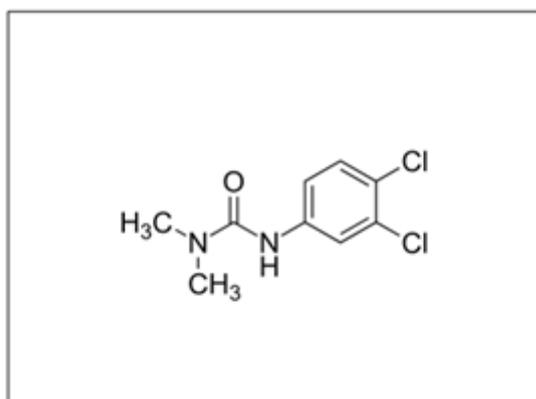
⁵ Mestre em Engenharia Química, doutora em Engenharia Química pela UFSCar e professora do programa de pós – graduação em Engenharia Química da UEM – e-mail: amsvieira@uem.br

Os corpos hídricos superficiais ou subterrâneos acabam sendo o destino final de toda forma de poluição (QUIRANTES; NOGALES; ROMERO, 2017). Assim, pelo fato de a água ser essencial para a vida no nosso planeta, é de grande preocupação que esta tenha condições aceitáveis atendendo as necessidades existentes (RIZZO et al., 2015). Os contaminantes emergentes são inúmeros produtos que estão presentes no dia a dia, tais como corantes (JIAO et al., 2017), metais tóxicos (PENG et al., 2017), fármacos (ZHU et al., 2017) e agroquímicos (ABLONOWSKI et al., 2010).

Os agroquímicos constituem um grupo de grande preocupação visto que possuem a função de neutralizar determinadas espécies de plantas (herbicidas), insetos (inseticidas) ou fungos (fungicidas) e podem vir a causar danos na fauna e na flora (LIU et al., 2010). Além disso, os agroquímicos têm gerado preocupações por conta da impossibilidade de controle dos danos promovidos ao meio ambiente. Uma vez que, trata-se de produtos químicos com tempo de meia vida longo, estes compostos agem além do ponto de lançamento, devido ao escoamento superficial gerado por precipitação pluviométrica, vindo a atingir os corpos receptores hídricos superficiais ou subterrâneos (WANG; KELLER, 2009), a este tipo de poluição da-se o nome de poluição difusa (ARCY; FROST, 2001).

Por conta da presente preocupação, dentre os inúmeros agroquímicos existentes no mercado, o herbicida diuron destaca-se por conta do baixo custo e eficácia em desempenhar as funções o qual é designado. O diuron (3-(3,4-diclofenil) - 1,1 dimetilureia) é um herbicida pertencente à família dos fenil - amidas e subclasse fenil - ureia (GIACOMAZZI; COCHET, 2004) e empregado para o controle de ervas daninhas (LIU, 2014). Outra característica do diuron é a detecção que é realizada no comprimento de onda de 248 nm (SALVESTRINI; DI CERBO; CAPASSO, 2002) e que possui a estrutura química pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 – Estrutura Molecular do Diuron.



Fonte: O autor (2018).

O diuron é herbicida desenvolvido na década de 50 e é largamente empregado em culturas de citros, cana de açúcar, café, entre outras. Trata-se de um herbicida sistêmico utilizado nos estágios pré – emergentes, durante o plantio e pós-emergente, que atua no processo fotoquímico das plantas promovendo extermínios de ervas indesejáveis ao plantio (CHEN et al., 2011).

Devido a diversidade de contaminantes emergentes encontrados na água, a eficácia das técnicas convencionais de tratamento de água e efluente vem sendo

colocada à prova, sendo assim, torna-se necessário o estudo de novas técnicas e materiais capazes de remover a diversidade de contaminantes que se fazem presentes na água (SUÁREZ-IGLESIAS et al., 2017). Novos materiais vêm sendo estudados, dentre os quais, os nano materiais tem recebidos destaques na comunidade científica por apresentarem propriedades ainda a serem exploradas e possuírem uma promissora aplicação. Desta forma destaca-se as nanopartículas (SANTOS et al., 2017), os nano tubos de carbonos (CHEN et al., 2011), o grafeno e suas variedades de técnicas de sínteses (BOTAS et al., 2013).

O Óxido de Grafeno (OG) é um material produzido a partir do processo oxidativo do grafite, podendo ser obtido por diferentes sínteses conforme a propriedade desejada a ser obtida (JANKOVSKÝ et al., 2016). Trata-se de um nano material, bidimensional que possui grupos oxigenados e sulfonados que contribuem para o processo de adsorção tornando o material atrativo para esta aplicação (ERSAN et al., 2017)

Por consequência dessa problemática existente no que se refere a remoção dos contaminantes emergentes, diversas técnicas estão sendo estudadas, dentre as quais se destacam a foto catálise (SHAHABUDDIN et al., 2016), processos oxidativos avançados (ESPLUGAS et al., 2007; RIVAS; BELTRÁN; ENCINAS, 2012), separação por membranas (SHAO et al., 2013), adsorção (SOPHIA A.; LIMA, 2018a), dentre outras técnicas. A adsorção é um processo de transferência de massa de uma fase fluída-líquida ou gasosa, para uma fase sólida que é conhecida por adsorvente. Essa técnica tem ganhado destaque para remoção de contaminantes emergentes da água, uma vez que, trata-se de um processo eficiente, possui baixo custo de implementação, pode ser aplicada em processos descontínuos ou contínuos, além de, fácil implementação (SOPHIA A.; LIMA, 2018b). Desta forma, devido à preocupação existente com a qualidade da água e com o desenvolvimento de técnicas e materiais viáveis para a remoção de contaminantes emergentes, este trabalho objetivou o estudo da viabilidade de aplicação do óxido de grafeno (OG) como material adsorvente para a remoção do herbicida diuron.

2. METODOLOGIA

No presente trabalho foi utilizando o diuron comercial fornecido pela Nortox S/A ®, sendo a leitura do herbicida realizada em UV/VIS em espectrofotômetro Hach ® modelo DR-5000, com a curva de calibração construída com solução de diuron em água destilada e concentrações variadas de 1 à 40 mg. L⁻¹.

2.1 Síntese do Óxido de Grafeno (Og)

O Óxido de Grafeno (OG) foi sintetizado pelo método de Hummers modificado conforme metodologia descrita por Kovtyukhova et al., (1999). O processo de síntese consiste da oxidação do grafite que é realizado em duas etapas, as quais são a pré – oxidação e a oxidação do grafite.

2.2 Caracterização do Adsorvente

O óxido de grafeno (og) e o grafite (gr) foram caracterizados por microscopia eletrônica de varredura acoplado a microscopia de raio - x por dispersão de energia (edx) em um microscópio de eletrônico quantafei – 250 e microscopia eletrônica de transmissão (met) realizada em um microscópio joel jem – 1400.

2.3 Planejamento Experimental

Para a realização dos experimentos de adsorção foi realizado um planejamento experimental 2^3 , variando-se a massa de adsorvente (10, 20 e 30 mg) e o pH inicial da solução de diuron (5,7 e 9). Após a determinação das melhores condições de adsorção, essas condições foram utilizadas para determinação da cinética de adsorção.

2.4 Experimento em Batelada

Os ensaios em batelada foram realizados a 25°C de temperatura, em agitação orbital com rotação de 120 rpm. O volume de solução utilizado foi de 20 mL e concentração inicial de 10 mg.L⁻¹ de diuron.

Determinado as melhores condições a partir do planejamento experimental realizado, foi conduzido o experimento cinético de adsorção, sendo este realizado em duplicata. O percentual de remoção foi calculado por meio da equação (1) (HEIDARIZAD; ŞENGÖR, 2016):

$$R(\%) = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \quad (1)$$

A capacidade de adsorção do material foi determinada conforme a equação (2)

$$q_t = \frac{(C_0 - C_t)V}{m} \quad (2)$$

Sendo, q_t a capacidade de adsorção do material (mg.g⁻¹), C_0 a concentração inicial do adsorvato (mg.L⁻¹), C_t a concentração do adsorvato em um determinado instante (mg.L⁻¹), V o volume de solução em (mL) e m a massa do adsorvente (mg).

2.5 Cinética De Adsorção

Para determinação da capacidade de adsorção em função do tempo, monitorou-se a concentração de diuron conforme o tempo de contanto com o adsorvente. Desta forma, a cinética de pseudo-primeira ordem foi determinada a partir da equação (3) citada por QIU et al. (2009):

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 * t \quad (3)$$

Em que, q_e representa a capacidade de adsorção no equilíbrio, q_t a capacidade de adsorção no dado instante de tempo e k_1 a constante de velocidade, cujo as unidades dimensionais são mg.g⁻¹ para as capacidades de adsorção e de h⁻¹ para constante de velocidade.

O modelo cinético de pseudo segunda ordem citado HO (2006):

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (4)$$

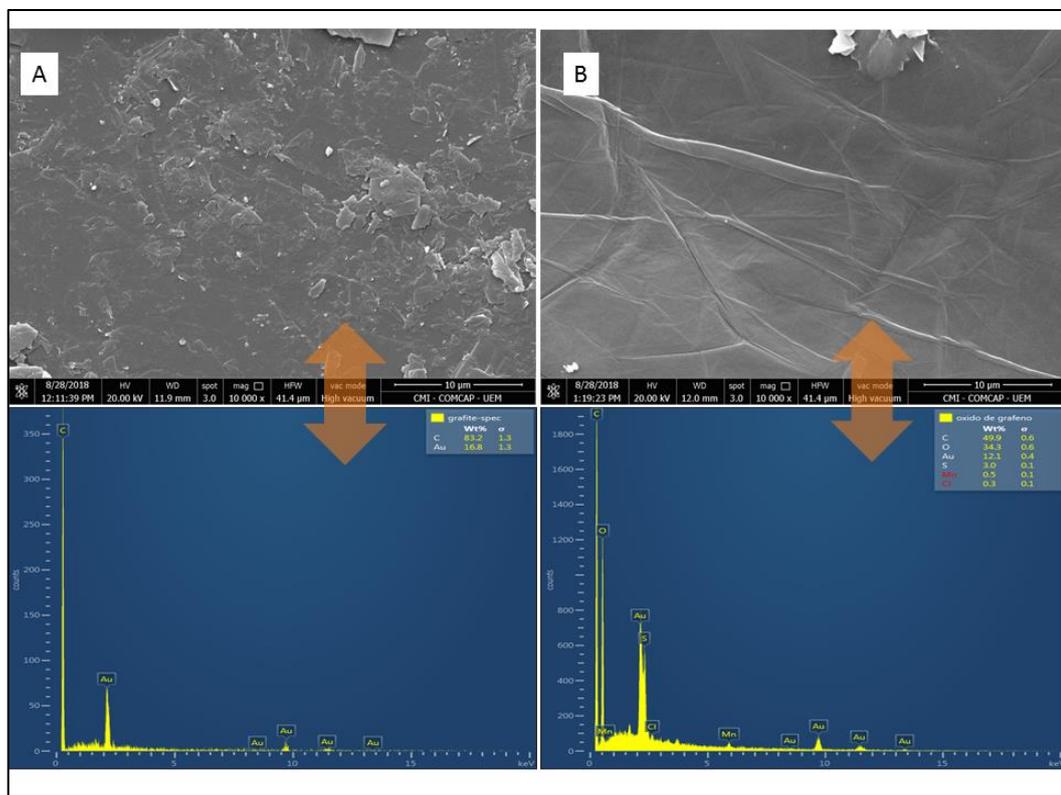
Sendo, k_2 corresponde a constante de velocidade de adsorção de segunda ordem a qual possui a dimensão de $\text{g} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1 Caracterização

As imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura e os espectros obtidos na análise de energia de dispersão de raio X do grafite e do óxido de grafeno são apresentados na Figura 2.

Figura 2 – Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do grafite (A) e do óxido de grafeno (B) acoplada a Energia de Dispersão de Raio - X (EDX).

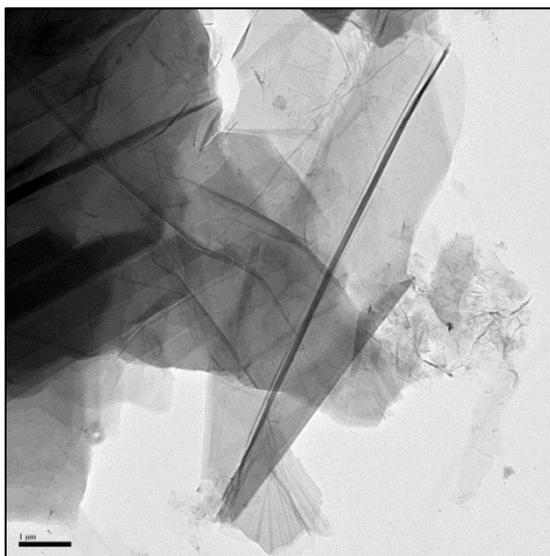


Fonte: O autor (2018).

Com base na Figura 2 foi possível constatar que há alteração química na superfície, pois foi comprovado a presença de elementos químicos presentes nos reagentes utilizados durante o processo de oxidação do grafite. Assim, foi possível verificar que o grafite apresentou a composição predominantemente de carbono e em contrapartida o óxido de grafite apresentou composição de carbono (49,9%), oxigênio (34,3%) e enxofre (3%) predominantemente. Esses resultados mencionados anteriormente corroboram com os encontrados por BIAN et al., (2015) e HUANG et al. (2015). No que diz respeito a estrutura do grafite (Figura 2A) quando comparada ao óxido de grafeno (Figura 2B) foi possível observar que o grafite apresenta uma estrutura de escamas, já a o óxido de grafeno apresenta uma estrutura mais organizada embora ainda seja possível observar irregularidades.

A Figura 3 apresenta a micrografia de MET do óxido de grafeno.

Figura 3 – Microscopia Eletrônica de Transmissão (MET) do óxido de grafeno.

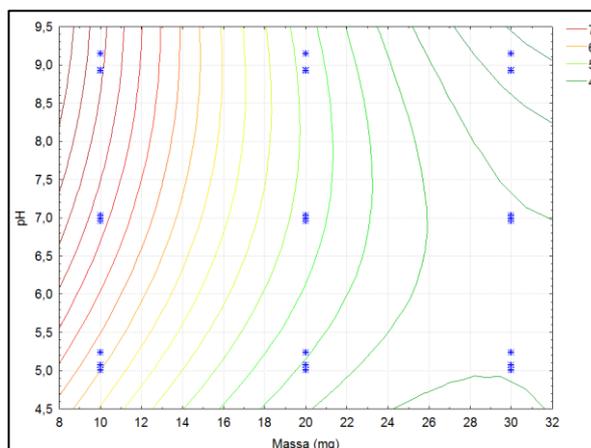


Analisando a Figura 3 é possível evidenciar a existência de poucas camadas sendo este comportamento semelhante ao encontrado por WANG; CHEN (2015) que também trabalhou com mesmo tipo de material. Vale também destacar a existência de dobras nas folhas de grafeno, confirmando a natureza ondulada do material, aspecto semelhante encontrado por ZHU et al.(2017).

3.2 Efeito da Massa e do Ph

O planejamento experimental foi realizado a fim de avaliar o efeito da massa de adsorvente e do pH na capacidade adsorção do diuron, logo, é possível ilustrar os resultados obtidos como apresentado na Figura 4.

Figura 4– Melhores condições de massa e pH para a adsorção do diuron.



Fonte: O autor (2018).

Examinando a Figura 4, é possível constatar que as melhores condições de adsorção são promovidas em menores massas e em pH neutros ou básicos,

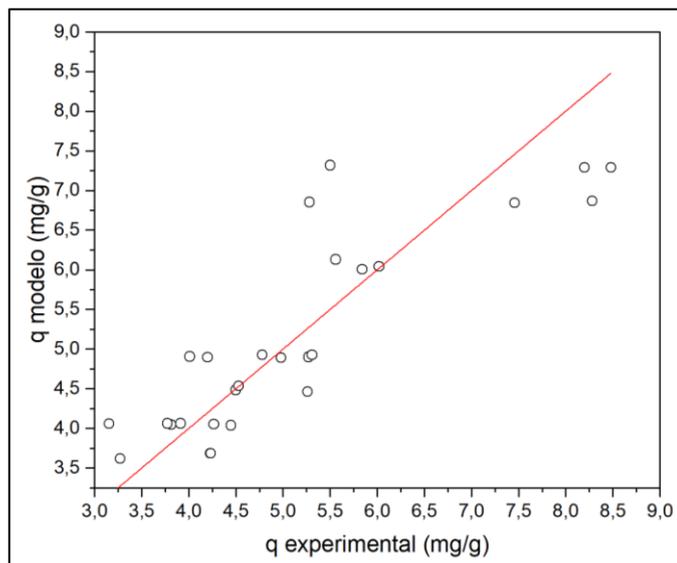
conforme é possível observar, evidenciando assim que os dois fatores estabelecidos possuem influencia sob a capacidade de adsorção.

Além disso, ao realizar a análise estatística do planejamento proposto foi possível obter o modelo matemático que descreve a capacidade de adsorção em função das variáveis da massa de adsorvente e pH inicial da solução, conforme o modelo matemático expresso na equação (5) a seguir:

$$q \text{ (mg.g}^{-1}\text{)} = 3,6788 - 0,2178 * (\text{massa}) + 1,2555 * (\text{pH}) + 0,0056 * (\text{massa})^2 - 0,0021 * (\text{massa}) * (\text{pH}) - 0,0516 * (\text{pH})^2 \quad (5)$$

Assim sendo, a representação do ajuste do modelo proposto pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 – Representação do ajuste do modelo estatístico proposto.



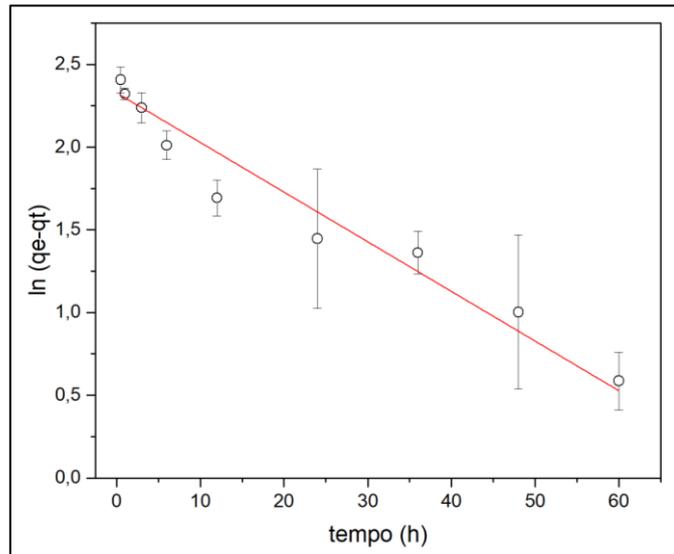
Fonte: O autor (2018).

Observando a Figura 5, é possível constatar que há uma boa predição do modelo matemático proposto na análise estatística, tal constatação pode ser evidenciada ainda com a dispersão dos pontos experimentais e a distribuição aleatória entorno da bissetriz que demonstra o ajuste do modelo.

3.3 Cinética

Com base nos modelos cinéticos propostos foi realizado os ajustes para cada modelo sendo o modelo de pseudoprimeira ordem e o modelo de pseudossegunda ordem apresentados respectivamente nas Figuras 6 e 7.

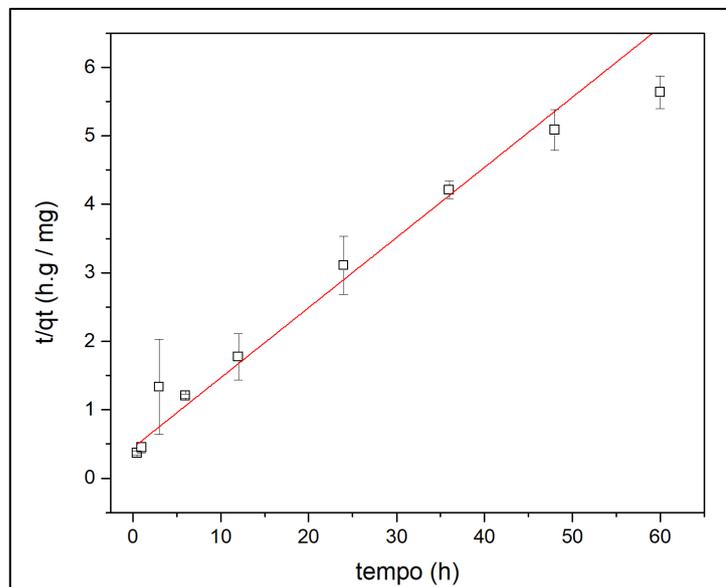
Figura 6 – Ajuste para o modelo cinético de pseudoprimeira ordem para o diuron.



Fonte: O autor (2018).

Observando a Figura 6, é possível constatar o modelo de pseudoprimeira ordem não possui um bom ajuste, dado a dispersão dos pontos em torno do modelo proposto, fato que é comprovado com a análise dos parâmetros na Tabela 1.

Figura 7 – Ajuste para o modelo cinético de pseudossegunda ordem para o diuron.



Fonte: O autor (2018).

Analisando de a Figura 7, é possível contar que o modelo de pseudossegunda ordem apresenta um bom ajuste, por conta da dispersão dos pontos entorno modelo, fato também reforçado pelo parâmetros apresentados na Tabela 1.

Além disso, os parâmetros de interesse foram então determinados e estão expressos na Tabela 1.

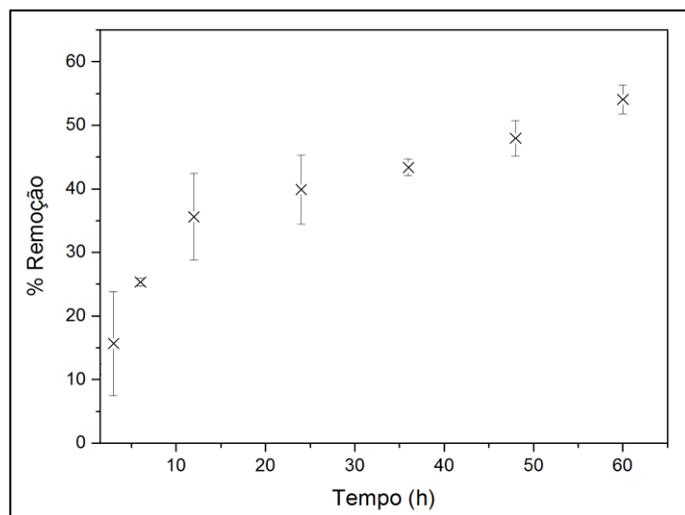
Tabela 1 – Parâmetros para os respectivos ajustes dos modelos cinéticos.

Parâmetro	Pseudoprimeira Ordem
$q_e (mg.g^{-1})$	$10,247 \pm 1,040$
$k_1 (h^{-1})$	$0,030 \pm 0,003$
$r^2_{ajustado}$	0,924
	Pseudossegunda Ordem
$q_e (mg.g^{-1})$	$9,762 \pm 0,711$
$k_2 (g.mg^{-1}.h^{-1})$	$0,024 \pm 0,004$
$r^2_{ajustado}$	0,959

Fonte: O autor (2018).

Observando a Tabela 1 é possível constatar que o modelo que melhor descreve a capacidade de adsorção em função do tempo é o modelo de pseudossegunda ordem, conforme o parâmetro estático corroborar. Além do ajuste cinético realizados foi possível verificar a influência do tempo de contato na capacidade de adsorção do óxido de grafeno, conforme é possível observar na Figura 8.

Figura 8 – Remoção de diuron utilizando óxido de grafeno (OG).



Fonte: O autor (2018).

Assim sendo, a Figura 8 evidencia que o percentual de remoção aumenta com o tempo de interação contaminante adsorvente, conforme é observado. Além disso, é possível constatar que o percentual de remoção atingir aproximadamente 50% de remoção em 50 horas.

4. CONCLUSÃO

Com os experimentos realizados foi possível constatar que o pH e a massa possuem influência sob capacidade de adsorção, sendo possível afirmar que em pH neutros à básicos há um favorecimento da capacidade de adsorção. Ademais, com

a realização do experimento cinético foi possível constatar que o modelo de pseudossegunda ordem foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais, contudo, com o modelo cinético linear ajustado não é possível afirmar que o sistema se encontra em equilíbrio uma vez que há limitação do ajuste do modelo cinético. Desta forma, é possível afirmar que a capacidade de remoção aumenta com o tempo de contato da solução de diuron com o óxido de grafeno (OG).

5. AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos desse trabalho são dirigidos ao Programa de Pós – Graduação em Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá (PEQ-UEM), a agência de fomento, Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Central de Microscopia (COMCAP -CMI).

REFERÊNCIAS

ABLONOWSKI, N. I. D. J.; AMACHER, G. E. H.; ARTINAZZO, R. O. M.; OFMANN, D. I. H.; URAUEL, P. E. B. **Metabolism and Persistence of Atrazine in Several Field Soils with Different Atrazine Application Histories**. p. 12869–12877, 2010.

ARCY, B. D.; FROST, A. **The role of best management practices in alleviating water quality problems associated with diffuse pollution**. 2001.

BIAN, Y.; BIAN, Z.-Y.; ZHANG, J.-X.; DING, A.-Z.; LIU, S.-L.; WANG, H. **Effect of the oxygen-containing functional group of graphene oxide on the aqueous cadmium ions removal**. *Applied Surface Science*, v. 329, p. 269–275, 2015.

Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169433214027895>>.

BOTAS, C.; ÁLVAREZ, P.; BLANCO, P.; GRANDA, M.; BLANCO, C.; SANTAMARÍA, R.; ROMASANTA, L. J.; VERDEJO, R.; LÓPEZ-MANCHADO, M. A.; MENÉNDEZ, R. Graphene materials with different structures prepared from the same graphite by the Hummers and Brodie methods. *Carbon*, v. 65, p. 156–164, 2013.

CHEN, G. C.; SHAN, X. Q.; PEI, Z. G.; WANG, H.; ZHENG, L. R.; ZHANG, J.; XIE, Y. N. Adsorption of diuron and dichlobenil on multiwalled carbon nanotubes as affected by lead. *Journal of Hazardous Materials*, v. 188, n. 1–3, p. 156–163, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.01.095>>.

CHIRON, N.; GUILLET, R.; DEYDIER, E. **Adsorption of Cu (II) and Pb (II) onto a grafted silica : isotherms and kinetic models**. v. 37, p. 3079–3086, 2003.

ERSAN, G.; APUL, O. G.; PERREAULT, F.; KARANFIL, T. Adsorption of organic contaminants by graphene nanosheets: A review. *Water Research*, v. 126, p. 385–398, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2017.08.010>>.

ESPLUGAS, S.; BILA, D. M.; KRAUSE, L. G. T.; DEZOTTI, M. Ozonation and advanced oxidation technologies to remove endocrine disrupting chemicals (EDCs) and pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in water effluents. *Journal of Hazardous Materials*, v. 149, n. 3, p. 631–642, 2007.

GIACOMAZZI, S.; COCHET, N. Environmental impact of diuron transformation: A review. **Chemosphere**, v. 56, n. 11, p. 1021–1032, 2004.

HEIDARIZAD, M.; ŞENGÖR, S. S. Synthesis of graphene oxide/magnesium oxide nanocomposites with high-rate adsorption of methylene blue. **Journal of Molecular Liquids**, v. 224, p. 607–617, 2016.

HO, Y. S. Review of second-order models for adsorption systems. **Journal of Hazardous Materials**, v. 136, n. 3, p. 681–689, 2006.

HUANG, J.; WU, Z.; CHEN, L.; SUN, Y. Surface complexation modeling of adsorption of Cd(II) on graphene oxides. **Journal of Molecular Liquids**, v. 209, p. 753–758, 2015.

JANKOVSKÝ, O.; MARVAN, P.; NOVÁČEK, M.; LUXA, J.; MAZÁNEK, V.; KLÍMOVÁ, K.; SEDMIDUBSKÝ, D.; SOFER, Z. Synthesis procedure and type of graphite oxide strongly influence resulting graphene properties. **Applied Materials Today**, v. 4, p. 45–53, 2016.

JIAO, X.; ZHANG, L.; QIU, Y.; GUAN, J. Comparison of the adsorption of cationic blue onto graphene oxides prepared from natural graphites with different graphitization degrees. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 529, n. March, p. 292–301, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2017.05.094>>.

KOVTYUKHOVA, N. I.; OLLIVIER, P. J.; MARTIN, B. R.; MALLOW, T. E.; CHIZHIK, S. A.; BUZANEVA, E. V.; GORCHINSKIY, A. D. **Layer-by-Layer Assembly of Ultrathin Composite Films from Micron-Sized Graphite Oxide Sheets and Polycations**. n. 6, p. 771–778, 1999.

LIU, J. Diuron. **Encyclopedia of Toxicology: Third Edition**, v. 2, p. 215–216, 2014.

LIU, Y.; XU, Z.; WU, X.; GUI, W.; ZHU, G. Adsorption and desorption behavior of herbicide diuron on various Chinese cultivated soils. **Journal of Hazardous Materials**, v. 178, n. 1–3, p. 462–468, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.01.105>>.

PENG, W.; LI, H.; LIU, Y.; SONG, S. A review on heavy metal ions adsorption from water by graphene oxide and its composites. **Journal of Molecular Liquids**, v. 230, p. 496–504, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.molliq.2017.01.064>>.

QIU, H.; LV, L.; PAN, B.; ZHANG, Q.; ZHANG, W.; ZHANG, Q. **Critical review in adsorption kinetic models** *. v. 10, n. 5, p. 716–724, 2009.

QUIRANTES, M.; NOGALES, R.; ROMERO, E. Sorption potential of different biomass fly ashes for the removal of diuron and 3,4-dichloroaniline from water. **Journal of Hazardous Materials**, v. 331, p. 300–308, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.02.047>>.

RIVAS, F. J.; BELTRÁN, F. J.; ENCINAS, A. Removal of emergent contaminants:

Integration of ozone and photocatalysis. **Journal of Environmental Management**, v. 100, p. 10–15, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.01.025>>.

RIZZO, L.; FIORENTINO, A.; GRASSI, M.; ATTANASIO, D.; GUIDA, M. Advanced treatment of urban wastewater by sand filtration and graphene adsorption for wastewater reuse: Effect on a mixture of pharmaceuticals and toxicity. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 3, n. 1, p. 122–128, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jece.2014.11.011>>.

RODRIGUEZ-NARVAEZ, O. M.; PERALTA-HERNANDEZ, J. M.; GOONETILLEKE, A.; BANDALA, E. R. Treatment technologies for emerging contaminants in water: A review. **Chemical Engineering Journal**, v. 323, p. 361–380, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2017.04.106>>.

SALVESTRINI, S.; DI CERBO, P.; CAPASSO, S. Kinetics of the chemical degradation of diuron. **Chemosphere**, v. 48, n. 1, p. 69–73, 2002.

SANTOS, T. R. T.; ANDRADE, M. B.; SILVA, M. F.; BERGAMASCO, R.; HAMOUDI, S. Development of α - and γ -Fe₂O₃ decorated graphene oxides for glyphosate removal from water. **Environmental Technology**, v. 3330, n. December, p. 1–20, 2017. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09593330.2017.1411397>>.

SHAHABUDDIN, S.; MUHAMAD SARIH, N.; MOHAMAD, S.; JOON CHING, J. SrTiO₃ Nanocube-Doped Polyaniline Nanocomposites with Enhanced Photocatalytic Degradation of Methylene Blue under Visible Light. **Polymers**, v. 8, n. 12, p. 27, 2016. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2073-4360/8/2/27>>.

SHAO, L.; CHENG, X. Q.; LIU, Y.; QUAN, S.; MA, J.; ZHAO, S. Z.; WANG, K. Y. Newly developed nanofiltration (NF) composite membranes by interfacial polymerization for Safranin O and Aniline blue removal. **Journal of Membrane Science**, v. 430, p. 96–105, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2012.12.005>>.

SOPHIA A., C.; LIMA, E. C. Removal of emerging contaminants from the environment by adsorption. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 150, n. June 2017, p. 1–17, 2018a. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.12.026>>.

SOPHIA A., C.; LIMA, E. C. Removal of emerging contaminants from the environment by adsorption. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 150, n. December 2017, p. 1–17, 2018b. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.12.026>>.

SUÁREZ-IGLESIAS, O.; COLLADO, S.; OULEGO, P.; DÍAZ, M. Graphene-family nanomaterials in wastewater treatment plants. **Chemical Engineering Journal**, v. 313, p. 121–135, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2016.12.022>>.

WANG, J.; CHEN, B. Adsorption and coadsorption of organic pollutants and a heavy

metal by graphene oxide and reduced graphene materials. **Chemical Engineering Journal**, v. 281, p. 379–388, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2015.06.102>>.

WANG, P.; KELLER, A. A. Sorption and desorption of atrazine and diuron onto water dispersible soil primary size fractions. **Water Research**, v. 43, n. 5, p. 1448–1456, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2008.12.031>>.

ZHU, S.; LIU, Y. guo; LIU, S. bo; ZENG, G. ming; JIANG, L. hua; TAN, X. fei; ZHOU, L.; ZENG, W.; LI, T. ting; YANG, C. ping. Adsorption of emerging contaminant metformin using graphene oxide. **Chemosphere**, v. 179, p. 20–28, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.03.071>>.

APLICAÇÃO DE REDES NEURAS ARTIFICIAIS PARA A OTIMIZAÇÃO DE PROCESSO DE DESTILAÇÃO DO REFINO DO PETRÓLEO

Greiciane dos Santos¹ e Isabeli Rayane de Souza²



RESUMO

O presente trabalho apresenta proposta de um sistema inteligente para a análise e apresentação de soluções a serem aplicadas em torres de destilação de petróleo. Este sistema engloba o tratamento de dados contidos em base de dados, a identificação de sintomas através de agentes especializados, a análise do conjunto de sintomas e a proposta de ações no sentido de corrigir problemas e otimizar o sistema de aquecimento da torre de destilação do petróleo. Conceitos de engenharia de petróleo como dimensionamento e verificação do sistema da torre de destilação formam utilizados juntos com o sistema de Redes Neurais, técnica computacional que tem mostrado bons resultados em diversas áreas envolvendo reconhecimento de padrões. Neste artigo discutiremos ferramentas desenvolvidas para: conversão dos dados de perfis elétricos em dados de treinamento e teste para o simulador neural utilizado, análise gráfica dos perfis da torre, e o funcionamento do algoritmo partir de uma rede neural treinada.

Palavras-chave: redes neurais, torre de destilação, petróleo.

ABSTRACT

The present work presents a proposal of an intelligent system for the analysis and presentation of solutions to be applied in towers of distillation of petroleum. This system encompasses the treatment of data contained in the database, the identification of symptoms through specialized agents, the analysis of a set of symptoms, and the proposal of actions to correct problems and optimize the heating system of the tower distillation of crude oil. Concepts of petroleum engineering such as sizing and verification of the system of the tower distillation form used together with the system of Neural Networks, a computational technique that has shown good results in several areas involving pattern recognition. In this article we will discuss the developed tools for: the conversion of profile data electrical data training and testing for the neural simulator used, graphical analysis of the profiles of the tower, and the functioning of the algorithm from a trained neural network.

Key-words: neural networks, tower distillation, crude oil.

1. INTRODUÇÃO

Uma refinaria de petróleo é basicamente construída com dois objetivos principais que são: a produção de combustíveis e matérias-primas petroquímicas e a produção de lubrificantes e parafinas. O primeiro objetivo é o mais utilizado, visto

¹ Acadêmica do curso de Engenharia Química da FATEB – e-mail: <anneh_santos@hotmail.com>.

² Acadêmica do curso de Engenharia Química da FATEB – e-mail: <isabelirayane18@gmail.com>.

que a demanda por combustíveis é maior que a demanda por outros produtos.

Antes de passar pelo processo de separação da refinaria, o petróleo bruto passa por outro processo chamado dessalinização, este que remove os sais corrosivos e alguns metais que podem causar danos às unidades de refino fazendo com que a sua eficiência seja reduzida.

A destilação atmosférica é a etapa inicial de transformação realizada em uma refinaria de petróleo. O petróleo bruto é transformado em produtos fundamentais para o dia-a-dia da população mundial, e é na etapa de destilação que acontece a separação desses derivados.

Inicialmente, o petróleo é aquecido em altas temperaturas até a evaporação do mesmo, esse vapor tende a voltar ao estado líquido conforme é resfriado em diferentes níveis dentro da torre de destilação, sendo que, em cada um desses níveis existe um recipiente que coleta o subproduto gerado a determinada temperatura.

As Redes Neurais Artificiais são técnicas computacionais que propõem um modelo matemático inspirado na estrutura neural de organismos inteligentes e são extremamente utilizadas para a substituição da mão-de-obra humana nos sistemas e processos industriais.

Pensando nisso, a seguinte pesquisa tem como finalidade desenvolver um sistema inteligência por meio da utilização de Redes Neurais para a melhoria das condições operacionais do processo utilização um método de otimização através de algoritmos genéticos.

2. METODOLOGIA

Por meio de uma pesquisa bibliográfica, o presente trabalho terá como ideia principal o desenvolvimento de uma rede neural para a otimização da coluna de destilação do petróleo a partir da simulação do aumento de temperatura para uma melhor separação de resíduos do óleo diesel.

3. DESENVOLVIMENTO

A destilação é um processo físico o qual se baseia fundamentalmente nas temperaturas de ebulições dos componentes existentes no processo. As temperaturas de ebulição de compostos de hidrocarbonetos aumentam de acordo com as suas massas molares, ou seja, quanto maior a massa molar, maior será a sua temperatura de ebulição.

Sendo assim, variando as temperaturas e outras condições de aquecimento de uma quantidade de petróleo bruto, é possível vaporizar compostos de hidrocarbonetos leves, intermediários e pesados, que ao se condensarem, podem ser fracionados, tornando-se assim, um subproduto do petróleo puro.

Entretanto, no processo em geral é gerado um tipo de resíduo o qual é constituído principalmente por hidrocarbonetos de massas molares extremamente grandes, e por esse motivo, nas condições em que o processo de destilação é realizado, esse resíduo não evapora.

O objetivo principal de uma unidade de destilação é obter um sistema bem controlado, com alta produtividade e qualidade do produto. Porém, devido às interações não lineares entre as variáveis de entrada e saída que existem no processo, é difícil obter e manter uma condição de funcionamento ideal para o processo.

Atualmente existem sistemas inteligentes, os quais são mais do que

apropriados para solucionar processos complexos como esse citado acima, visto que, normalmente, um sistema inteligente é composto por uma base de dados e um otimizador que será utilizado para oferecer ao usuário uma resposta adequada.

Pensando na resolução dos problemas de variáveis não-lineares, métodos como a Lógica Fuzzy, Redes Neurais Artificiais e Neuro-Fuzzy tem a capacidade e são utilizados para a construção de um banco de dados de conhecimento, sendo que esses dados podem ser definidos por meio de um conjunto de regras, um padrão, ou valores relativos à entrada e saída do processo.

A abordagem das Redes Neurais foi implementada e é considerada uma das formas mais eficazes para modelar processos complexos devido à característica não-linear de sua estrutura.

3.1 Refino do Petróleo

O petróleo bruto (termo utilizado para o óleo não refinado) é um combustível fóssil formado pelo processo de decomposição da matéria orgânica, ou seja, restos de animais e vegetais. O processo de formação do petróleo acontece por centenas de anos e o resultado final pode apresentar cores diferentes (de claros a negro), assim como outras propriedades como a viscosidade, tem tipos de petróleo que são semelhantes à água e, em outros casos, podem apresentar-se de maneira quase sólida.

Geralmente, o petróleo bruto é composto pelos seguintes elementos: Carbono (84%), Hidrogênio (14%), Enxofre (1% a 3%), Nitrogênio (menos de 1%), Oxigênio (menos de 1%), Metais (menos de 1%) e Sais (menos de 1%), sendo assim o ponto de partida para muitas outras substâncias, visto que é composto principalmente por hidrocarbonetos. Os hidrocarbonetos são moléculas compostas de carbono e hidrogênio (cadeias ramificadas, não ramificadas e cíclicas). Esses compostos são muito energéticos e possuem diferentes formas, sendo dessas características que partem alguns produtos derivados do petróleo como a gasolina, plástico e borracha sintética.

Por ter vários tipos de cadeias com tamanhos e formas diferentes é que o petróleo deve passar pelo processo do refino, para que assim, esses hidrocarbonetos possam ser separados. As cadeias de hidrocarbonetos possuem pontos de ebulição diferentes que vão aumentando progressivamente, o que torna possível a separação das mesmas por meio do processo de destilação fracionada. No geral, é isso o que acontece em uma refinaria de petróleo, na qual o petróleo bruto é aquecido e as várias cadeias de hidrocarbonetos vão se separando conforme as suas temperaturas de ebulição.

Em cada ponto onde essa cadeia é separada, alguns produtos são gerados de maneira específica, tais como: gás de petróleo, gasolina, querosene, óleo lubrificante, entre outros.

O processo de destilação fracionada se inicia com o aquecimento do petróleo bruto cheio de substâncias com diferentes temperaturas de ebulição a alta temperatura, esse aquecimento costuma ser realizado com vapor de alta pressão para temperaturas de aproximadamente 600°C. Continuando o aquecimento, o petróleo entra em ebulição formando vapor, sendo que a maioria das substâncias presentes também passa para a fase de vapor. Esse vapor adentra o fundo da coluna de destilação fracionada que é cheia de bandejas. O vapor sobe pela coluna e conforme vai subindo pelas bandejas, vai acontecendo o esfriamento do mesmo.

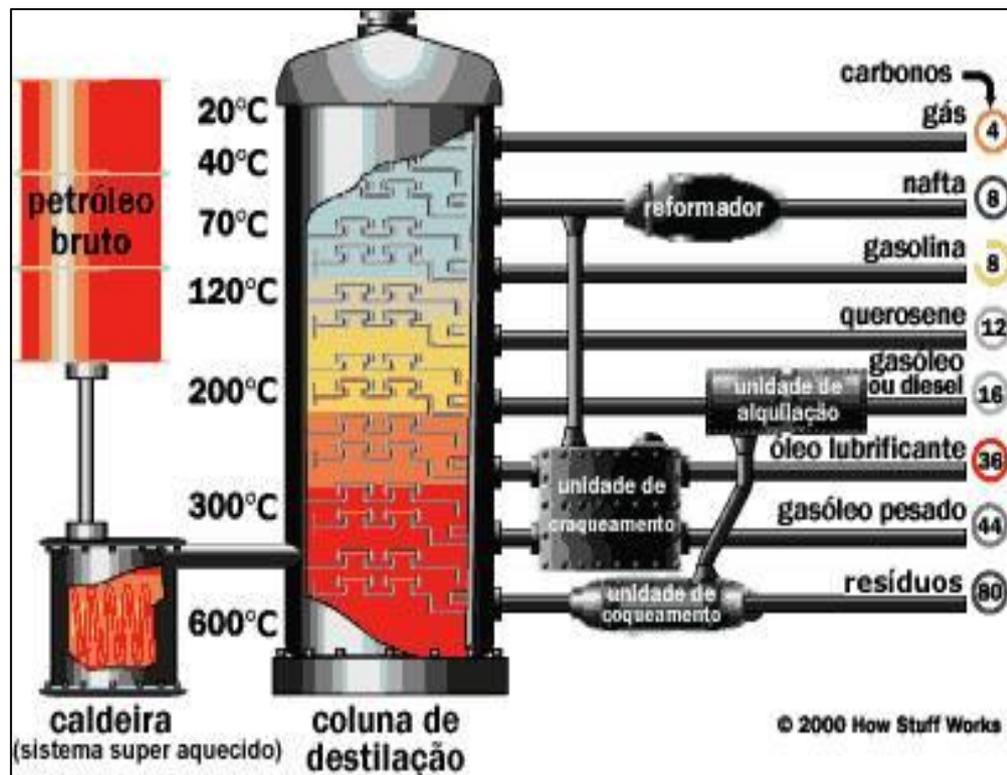
Quando uma determinada substância com ponto de ebulição n sobe na coluna e chega a uma altura em que a temperatura se igualou ao seu ponto de

ebulição, a mesma se condensa e forma um líquido.

É fundamental citar que a substância com menor ponto de ebulição irá se condensar no topo da coluna, sendo que substâncias com outros pontos de ebulição se condensarão em diferentes pontos posteriores na coluna.

Quando a substância se condensa, as bandejas servem para recolher o líquido, este que, pode passar por mais condensadores, se resfriando ainda mais e após isso ir para o tanque de armazenamento ou ser encaminhado para outras áreas para passar por outros processos que podem ser químicos, térmicos e catalíticos.

FIGURA 1 – Coluna de destilação fracionada



FONTE: Indústria Hoje.

3.2 Programação Genérica

Programação genérica refere-se a um tipo de abstração no processo de desenvolvimento de software, voltado para a construção de algoritmos que independem de um determinado tipo ou estrutura de dados e que, no entanto, sejam tão eficientes quanto se construídos acoplados a uma determinada estrutura. Os algoritmos genéricos são escritos com base em um conjunto de requisitos sobre as estruturas que manipulam, sem explicitamente especificá-las. Estas estruturas podem ser tipos simples, compostos ou definidos pelo usuário; desde que atendam aos requisitos especificados, podem ser tratadas pelo algoritmo sem a necessidade de sua replicação para cada um deles (AUSTERN, 1999).

3.3 Redes Neurais Artificiais (Rna`S)

Uma rede neural é um sistema computacional constituído por unidades conhecidas como neurônios. Os neurônios são elementos processadores interligados, trabalhando em paralelo para desempenhar uma determinada tarefa. Os modelos RNA´s constituem uma importante técnica estatística não-linear capaz de resolver uma gama de problemas de grande complexidade. Por isso, são modelos úteis em situações que não é possível definir explicitamente uma lista de regras. Em geral, isso acontece quando o ambiente gerador dos dados muda constantemente. As principais áreas de atuação são para classificação de padrões e previsão.

Etapas de modelagem de uma rede neural:

De acordo com (VELLASCO, 2007). As etapas de modelagem de uma rede neural envolvem essencialmente três passos:

1. Treinamento e Aprendizado: obtido pelo ambiente gerador dos dados.
2. Associação: reconhecimento de padrões distintos.
3. Generalização: relacionado a capacidade da rede de reconhecer com sucesso o ambiente que origina os dados e não propriamente os dados utilizados no treinamento.

A modelagem inicia-se escolhendo os exemplos a serem usados para o treinamento. Essas observações podem ser do tipo “rotuladas” ou não. Se forem rotuladas significa que haverá um conjunto de pares de entrada-saída desejável. Nesta etapa também devem ser selecionados os exemplos que servirão para validar o modelo no momento de testar a sua capacidade de generalização.

Como uma rede neural só aprende a partir de dados, a escolha das variáveis de entrada é de grande importância. Isso porque embora a rede neural tenha condições de modelar problemas difíceis de especificar, é preciso que existam dados e observações suficientes e representativas para o conhecimento ser extraído e para que o aprendizado da RNA aconteça com sucesso.

O conhecimento é passado para a rede por um algoritmo de treinamento e o aprendizado é transformado e armazenado em densidades de conexões que são os pesos. O aprendizado é o resultado das muitas apresentações de um determinado conjunto de exemplos de treinamento. Neste contexto, é válido destacar o conceito de época. Época significa uma apresentação completa de todo o conjunto de treinamento.

Segundo (VELLASCO, 2007) O treinamento da rede pode se dar de duas maneiras: batelada ou incremental.

- 1) batelada ou por ciclos: a atualização dos pesos acontece somente após a apresentação de todos os padrões. Cada padrão é avaliado na mesma configuração de pesos.
- 2) Padrão a Padrão ou incremental: o algoritmo faz a atualização dos pesos após a apresentação de cada novo padrão. Por isso mesmo, a frequência das atualizações em um mesmo período tende a ser maior que no caso anterior.

Como por este critério o algoritmo tende a levar a rede a aprender melhor o último padrão apresentado, é interessante tornar a apresentação dos exemplos aleatória. A eficiência dos dois métodos depende do problema em questão.

O aprendizado é mantido de época em época até que os pesos e o polarizador se estabilizem e o erro médio quadrado sobre todo o conjunto de treinamento convirja para um valor mínimo e o objetivo pretendido seja atingido.

Ressalva-se que minimizar o erro quadrado médio é um dos critérios para o ajuste de pesos, mas não o único. Existem outros critérios, como por exemplo, a maximização da informação mútua cujo objetivo é maximizar a informação entrada-saída.

4. CONCLUSÃO

A partir da pesquisa realizada no presente artigo é possível concluir que por meio de uma base de dados sólidas e proporcionais ao processo de destilação existe a possibilidade de criar um código por meio de redes neurais para que haja melhoramento nos produtos finais derivados do petróleo a partir do aumento de temperatura no forno. Essa melhoria por aumento de temperatura é dada por reações químicas aceleradas por conta de uma temperatura mais elevada.

A utilização de redes neurais já está sendo muito utilizada para a otimização e melhoramento de processos em várias empresas do mundo, visto que é um agente que traz resultados de melhor qualidade para os produtos e menor tempo de fabricação dos mesmos.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus por ter nos contemplado com a oportunidade de realizar nossos objetivos e aos nossos familiares pelo apoio.

Agradecemos ao nosso orientador Luiz Renato Pesch, pelo incentivo e apoio a continuar com a ideia mesmo quando achamos que não vamos mais conseguir continuar e pelas correções e dicas, para que assim pudéssemos melhorar cada vez mais nosso projeto.

Agradecemos a Faculdade de Telêmaco Borba e a coordenação do curso de Engenharia Química, professor Osvaldo Vieira, por sempre incentivar os projetos de pesquisas.

REFERÊNCIAS

BEZERRA, D. M. **Redes Neurais Artificiais e Redes Complexas: Aplicações em Processos Químicos**. Universidade Federal do Ceará. 2005. Disponível em: (http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/5043/1/2005_dis_dmbezerra.pdf).

DAMASCENO, N. C. **Inferência na Qualidade do GLP usando Redes Neurais Artificiais**. Universidade de Potiguar – UNP. 2009. Disponível em: (http://ncdd.com.br/especializacao/Monografia_Infer%C3%Aancia-Nielsen.pdf)

FINOCCHIO, M. A. F. **Noções de Redes Neurais Artificiais**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. 2014.

GOMES, M. V. de C. **Otimização Sequencial por Aproximações – Uma aplicação em tempo real para o refino do petróleo**. Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. 2007. Disponível em: (<http://portal.peq.coppe.ufrj.br/index.php/producao-academica/teses-de-doutorado/2007/242-otimizacao-sequeencial-por-aproximacoes-uma-aplicacao-em-tempo-real-para-o-refino-de-petroleo/file>).

SEVERO, L. S. Controle de Processos da Indústria de Petróleo e Gás utilizando técnicas de Inteligência Artificial. Universidade Federal de Santa Catarina. 2004. Disponível em:
(http://www.wbezerra.com.br/prh34/site/trabahos_finais/graduacao/Larissa%20S.%20Severo_PRH34_UFSC_ENQ_G.pdf).

SILVA, J. H. Otimização de uma Unidade de Destilação Atmosférica de Petróleo utilizando Redes Neurais e Algoritmos Genéticos. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN. 2014. Disponível em:
(http://repositorio.ufrn.br:8080/jspui/bitstream/123456789/22075/1/JoseHiltonDaSilva_DISSERT.pdf).

APLICAÇÃO DE REDES NEURAIS PARA CONSTATAÇÃO DE PADRÕES DE VAZAMENTOS EM DUTOS

Ingrid Louise Ferreira da Silva¹ e Shellem Lorena Santos de Mello²



RESUMO

O presente trabalho é apresentado diversas formas de detecção de vazamento em dutos, estão comumente sendo pesquisadas, com o objetivo de diminuir as perdas econômicas e diminuir, também danos ao meio ambiente. Os sistemas mais simples de descoberta de vazamentos são baseados em métodos observacionais, para realizar a detecção de vazamento, basicamente em uma investigação visual (como por exemplo, câmeras de segurança, inspeções aéreas, entre outros), sendo muito dependentes do fator humano, aplicáveis, em suma, em dutos de pequeno comprimento, expostos em regiões de fácil acesso. Outro sistema é o método baseado em hardwares, que são empregados em diversos dispositivos. As maneiras que se destacam são: ondas de pressão negativa e sistemas acústicos de detecção de vazamentos; e por fim, sistemas baseados em softwares usam algoritmos que controlam a temperatura, vazão, densidade, entre outros parâmetros dos dutos. Este trabalho utilizará redes neurais artificiais para extrair características de um sinal de vazamento de um pequeno protótipo e diferenciá-lo de sinais operacionais de vazamentos.

Palavras-chave: vazamentos; dutos; redes neurais.

ABSTRACT

The present work is presented several forms of leak detection in ducts, they are commonly being researched, with the objective of to reduce the economical losses and to decrease, also damages to the environment. The simplest system of discovery of leaks is based on methods observacionais, to accomplish the leak detection, basically in a visual (I eat for instance, cameras of safety, aerial inspections, etc) investigation, being very dependent of the factor human, applicable, in short, in ducts of small length, exposed in areas of easy access. This work will use nets artificial neurais to extract characteristics from a leak signal from a small prototype and to differentiate him/it of operational signs of leaks.

Key-words: leaks; ducts; neural networks.

1. INTRODUÇÃO

O deslocamento de, por exemplo, petróleo e derivados em dutos (oleodutos, gasodutos e poli dutos) é uma maneira mais eficaz e econômica, comparado ao custo do transporte por malha rodoviária, ferroviária ou marítima, principalmente em grandes distâncias (AGUIAR, 2010).

Segundo Papadakis, Porter e Wetting (1999), os acidentes em oleodutos e gasodutos são causados, principalmente por falhas operacionais, corrosão, movimentação do solo, fenômenos naturais e ações externas ou não autorizadas,

¹ Acadêmica do curso de Engenharia Química da FATEB – e-mail: <ingridlouiseferreira@gmail.com>.

² Acadêmica do curso de Engenharia Química da FATEB – e-mail: <shellemsdmello@gmail.com>.

por exemplo: ligações clandestinas (apud AGUIAR, 2010, p. 27).

Os dutos podem mostrar defeitos ao longo de sua utilização devido a um ou mais mecanismos de falha de material (SANTOS, 2016).

Diante disto, diversas formas de detecção de vazamento em dutos vêm sendo pesquisadas, com o objetivo de diminuir as perdas econômicas e diminuir, também danos ao meio ambiente. Um rompimento ou vazamento da tubulação pode provocar danos irrecuperáveis, especialmente se a construção dos dutos se encontra em locais submersos, alagados ou em uma reserva ambiental (AGUIAR, 2010).

A utilização das redes neurais artificiais é uma excelente forma para a otimização na maneira para detectar os vazamentos em dutos. O sistema mais simples de descoberta de vazamentos são baseados em métodos observacionais, para realizar a detecção de vazamento, basicamente em uma investigação visual (como por exemplo, câmeras de segurança, inspeções aéreas, etc), sendo muito dependentes do fator humano, aplicáveis, em suma, em dutos de pequeno comprimento, expostos em regiões de fácil acesso (AGUIAR, 2010).

No que se refere à inteligência artificial (IA), destacam-se os Algoritmos Genéticos, Lógica Difusa e Redes Neurais Artificiais (FILLIPATI F., et al., 2000), sendo este trabalho focalizado em Redes Neurais Artificiais (RNAs) (apud AGUIAR, 2000).

De acordo com Selli e Seleglim (2007), nas análises matemáticas, as RNAs são definidas como um mapeamento não-linear de um vetor de espaço de entrada para um vetor de espaço de saída, podendo ser feito através de camadas de funções de ativação e neurônios, nos quais coordenadas de entrada são somadas de acordo com o valor de seus respectivos pesos e “bias” para produzir uma saída simples (apud AGUIAR, 2010).

Esta análise matemática tem inspiração biológica, o cérebro. Este é constituído por unidades funcionais, chamadas neurônios, os quais emitem impulsos elétricos em resposta a estímulos (TIMOSZCZUH, 2004).

Essas unidades são grandemente interconectadas, tendo como resultado uma estrutura arquitetônica complexa. Inspirado nisso, muitos modelos matemáticos foram desenvolvidos, refletindo sobre o funcionamento do cérebro humano (TAGLIARINI, et al., 1991. apud AGUIAR, 2010).

A rede Perceptron Multicamadas e algoritmo de treinamento backpropagation, se caracteriza pela presença de múltiplas camadas de unidades básicas de processamento do tipo Perceptron (GUYON I, 1991 apud, AGUIAR, 2010).

A rede é composta por uma camada de entrada e uma camada de neurônios de saída, podendo ter inúmeras camadas internas, chamadas de camadas escondidas. Cada camada pode conter neurônios perceptrons, sendo que as saídas destes podem gerar a entrada de neurônios da camada subsequente, desde a camada de entrada até a de saída. Neste formato de rede, não há retroalimentação, pois a propagação da rede neural é unidirecional. Para o treinamento da rede, utiliza-se o algoritmo backpropagation, apresentado um conjunto de treinamento da rede neural, com pares de entrada e saídas conhecidos (AGUIAR, 2010).

O vetor de entrada é propagado, camada a camada, até a camada de saída. O vetor de saída da rede é então comparado ao vetor de saída desejado, sendo a diferença entre ambas saídas (calculada e desejada) o erro de saída da rede (AGUIAR, 2010).

Este erro então será retro propagado na rede, com a finalidade de ajustar os

pesos sinápticos, para que na próxima iteração o erro seja reduzido (AGUIAR, 2010).

Diante disso, o método utilizado neste trabalho será o método observacional, que contará com um pequeno protótipo, o qual será operado manualmente, simulando vazamentos através da abertura das válvulas e fechamento das mesmas. Também contará com a presença de RNAs, as quais utilizam a aprendizagem supervisionada através de exemplos, ou seja, diante de um conjunto de comportamentos esperados e suas determinadas razões, é possível mapear e fazer com que a RNA aprenda este fenômeno (POMMERANZENBAUM, 2014).

2. METODOLOGIA

Para treinar a rede neural, são necessários vários valores a serem coletados, de forma a prever e constatar o vazamento, para isso foi construído um protótipo para simulação e obtenção de dados dispostos pelo mesmo.

O modelo a ser utilizado se baseia em dutos e seu vazamento é controlado por válvulas de escape instaladas, a princípio, em dois locais para a constatação inicial. O protótipo se encontra em teste e possui outras duas válvulas de controle de vazão, totalizando quatro para uma predição com erro menor.

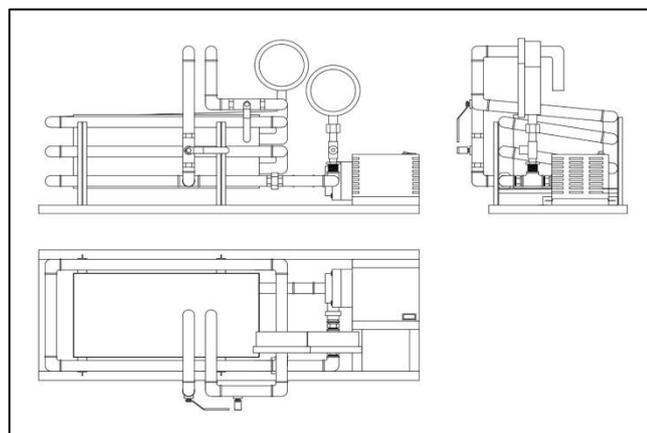
Os materiais utilizados para a construção do protótipo são:

- 3 metros de cano de PVC (1/2”);
- 1 bomba de aquário;
- 17 cotovelos de pvc;
- Tê de PVC (90°);
- 4 válvulas de PVC;
- 1 balde;
- 1/2 metro de mangueira transparente;
- Cola para cano de PVC.

O fluido a ser utilizado no protótipo para a obtenção dos dados para o treinamento da RNA será a água.

Para ilustração deste protótipo, foi desenvolvido um croqui pelo software “AutoCad”, dispondo a projeção ortográfica, apresentado na Figura 1. mostrando três vistas espaciais: frontal, lateral esquerda e superior.

Figura 1 – Projeção Ortográfica (AutoCad)

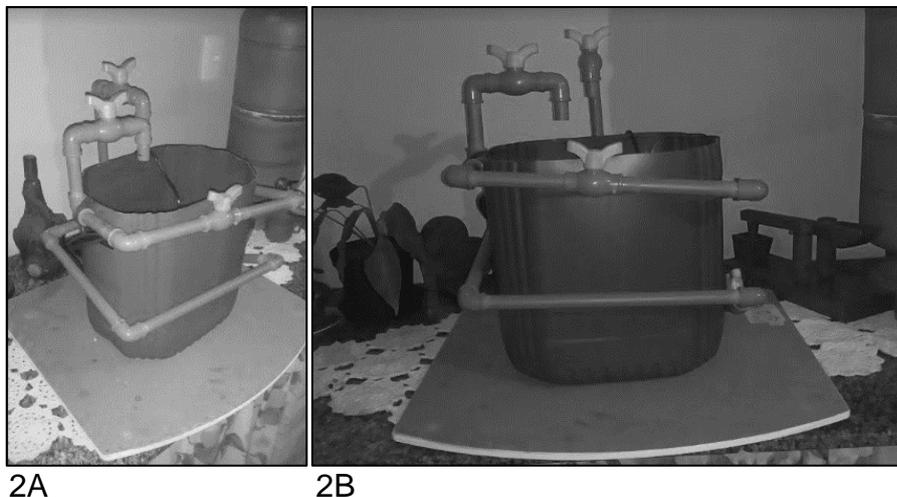


Fonte: o Autor

Após o croqui do projeto, criou-se o protótipo (Figura 2A e 2B) utilizando os materiais mencionados acima, acrescentando algumas melhorias para facilitar a prática. O sistema de controle e aquisição dos dados iniciou-se manualmente. Para execução dos testes foi usado o método de escoamento monofásico de água, o qual seguiu a seguinte sequência:

- Definição da frequência da bomba usada no experimento;
- Abertura da primeira válvula, simulando o primeiro vazamento;
- Armazenamento dos valores de volume, temperatura e tempo: 10 (dez) segundos como padrão para coleta de dados;
- Abertura da segunda válvula, ainda com a primeira aberta;
- Coleta das variáveis pelo tempo padrão;
- Abertura da terceira válvula, permanecendo abertas a válvula 1 (um) e a válvula 2 (dois);
- Coleta das variáveis pelo tempo padrão;
- Abertura da quarta e última válvula, ainda estando abertas as válvulas 1 (um), 2 (dois) e a válvula 3 (três);
- Coleta das variáveis pelo tempo padrão proposto;
- Intercalação da abertura das válvulas em sequências distintas, para uma margem de percepção de erro menor e aquisição mais coerentes.

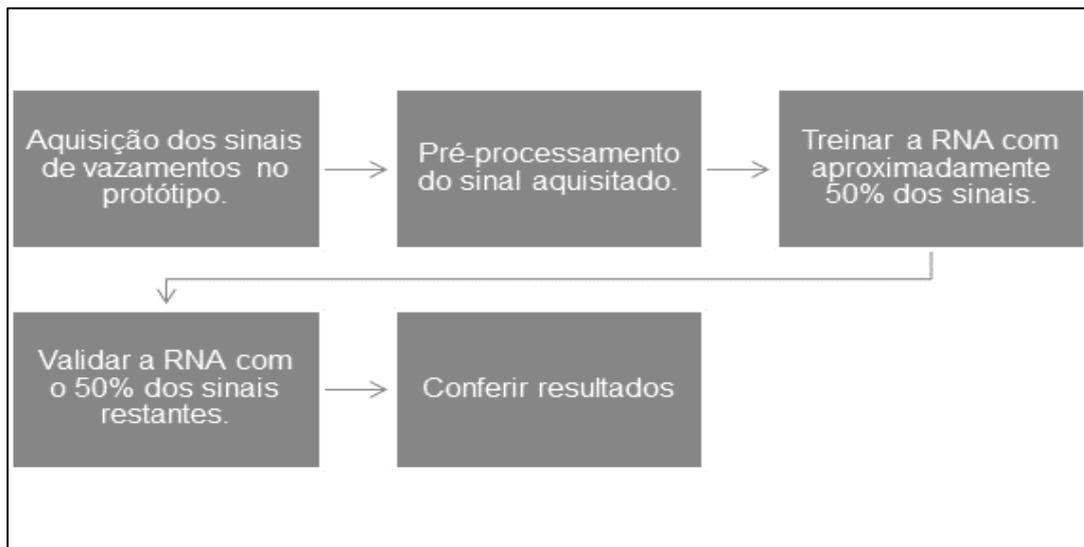
Figura 2A e 2B – Protótipo



Fonte: o Autor

Considerando um experimento eficiente em seus resultados, é importante que a coleta de dados seja sempre retirada da mesma forma, fazendo assim com que a Rede Neural Artificial (RNA) trabalhe de forma adequada e seu erro de treinamento seja o menor possível. Diante do que foi apresentado e para um melhor conhecimento das etapas do processo, foi desenvolvido um fluxograma (Figura 3) do processo executado, a fim de agregar mais dados para tornar a RNA mais precisa.

Figura 3 – Processo para a obtenção dos resultados



Fonte: o Autor

3. DESENVOLVIMENTO

O deslocamento de, por exemplo, petróleo e derivados em dutos (oleodutos, gasodutos e poli dutos) é uma maneira mais eficaz e econômica, comparado ao custo do transporte por malha rodoviária, ferroviária ou marítima, principalmente em grandes distâncias (AGUIAR, 2010).

Segundo Papadakis, Porter e Wetting (1999), os acidentes em oleodutos e gasodutos são causados, principalmente por falhas operacionais, corrosão, movimentação do solo, fenômenos naturais e ações externas ou não autorizadas, por exemplo: ligações clandestinas (apud AGUIAR, 2010, p. 27).

Diante disto, diversas formas de detecção de vazamento em dutos vêm sendo pesquisadas, com o objetivo de diminuir as perdas econômicas e diminuir, também danos ao meio ambiente. Um rompimento ou vazamento da tubulação pode provocar danos irreversíveis, especialmente se a construção dos dutos se encontra em locais submersos, alagados ou em uma reserva ambiental (AGUIAR, 2010).

Há vários métodos de constatação de vazamentos, entre eles, os que são baseados em hardwares, softwares e observacionais. Quanto aos métodos que estão apoiados em hardwares, são empregados diferentes dispositivos para a detecção e a sua determinada localização de um vazamento. Os métodos que se destacam, são: ondas de pressão negativa e sistemas acústicos de detecção de vazamento (AGUIAR, 2010).

O sistema mais simples de descoberta de vazamentos é baseado em métodos observacionais, para realizar a detecção de vazamento, basicamente em uma investigação visual (como por exemplo, câmeras de segurança, inspeções aéreas, etc), sendo muito dependentes do fator humano, aplicáveis, em suma, em dutos de pequeno comprimento, expostos em regiões de fácil acesso (AGUIAR, 2010).

Os dutos podem mostrar defeitos ao longo de sua utilização devido a um ou mais mecanismos de falha de material (SANTOS, 2016).

Em uma pesquisa realizada pelo Wall Street Journal (2010) estas falhas apresentam um grande aumento no número de incidentes, que envolvem vazamentos em vários países, entre eles se evidenciam o Reino Unido, Noruega e Austrália, com percentual de aumento de um ano para o outro, 39%, 48% e 100% (apud, SANTOS, 2016).

Um vazamento ou rompimento da tubulação pode causar danos que não será possível a sua recuperação. Com isso, diversas técnicas para a melhoria desse problema vêm sendo pesquisadas (AGUIAR, 2010).

“Nenhum método de detecção de vazamento é universalmente aplicável e os requisitos operacionais ditam qual é o método mais eficaz para o processo. Em geral, o ideal é utilizar mais de um sistema independente de detecção de vazamentos em oleodutos importantes” (STOUFFS, MICHEL, 1993).

Há vários problemas nos dutos, como por exemplo, corrosão, fadiga, falhas de soldas, mudanças repentinas de pressão e ações de terceiros podem alterar a integridade de um duto, provocando assim vazamentos em várias proporções (AGUIAR, 2010).

Os vazamentos em dutos diminuem a capacidade do sistema controlar e distribuir a pressão necessária, gerando ruídos e correntes de ar indesejáveis, causando também sujeira no duto (NASSAR, et. al., 2014).

O processo que acontece durante o vazamento em dutos pressurizados, é o ar da região de maior pressão para o de menor pressão, onde o fluxo ocorre no sentido do interior do duto para o forro, tendo como desvantagem perda da eficiência e causa de danos na instalação.

Outra dificuldade é que os vazamentos não são perceptíveis de maneira rápida pelos usuários, tendo como problema um sistema deteriorado irreversivelmente, aumentando o impacto de vazamento (NASSAR, et. al., 2014).

Atualmente as empresas buscam realizar inspeções periódicas na procura de corrosão ou algum sinal de defeito nos dutos, visando a segurança e maior duração dos mesmos. Sendo realizadas, com técnicas adequadas para a situação, colaborando com a indústria, encontrando os problemas (SILVA & GALVÃO, 2014 apud, SANTOS, 2016).

Para as empresas é importante certificar-se que os dutos funcionaram de maneira correta conforme a instalação e a operação definida no projeto original, para que não tenha eventualidades, falhas que possam causar danos a plenitude estrutural de dutos (SANTOS, 2016).

Os sistemas baseados em inteligência artificial, tem-se desenvolvido e mostrado resultados flexíveis e promissores (AGUIAR, 2010).

O detector de vazamentos auxilia minimizando a ocorrência de falsos alarmes e o tempo de detecção do vazamento (WEGELIN, 2014). A utilização das redes neurais artificiais é uma excelente forma para a otimização na maneira para detectar os vazamentos em dutos.

No Brasil, a predição desses problemas não é muito estudada, resultando em um possível desperdício significativo, gerando prejuízos. O estudo da inspeção visual é utilizado na detecção de pequenas e grandes fissuras do duto. Esta é uma técnica pertinente, necessitando de conhecimentos mais apurados, seguindo regras cautelosas (SANTOS, 2016).

Diante disso, o método utilizado, contará com a presença de RNAs, as quais utilizam a aprendizagem supervisionada através de exemplos, ou seja, diante de um conjunto de comportamentos esperados e suas determinadas razões, é possível mapear e fazer com que a RNA aprenda este fenômeno (POMMERANZENBAUM, 2014).

Como já citado, há vários métodos de medição de vazamentos, sendo exemplos:

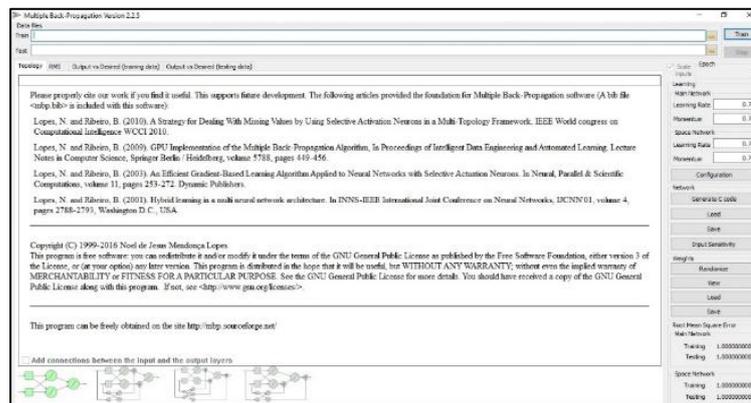
- Métodos Biológicos: método automático, de maneira mais simples e de baixo custo, que pode ser usada independente da instrumentação disponível. O vazamento é encontrado de maneira visual, ou com sons específicos. Considera-se que esse método pode se basear na experiência pessoal de operadores (WEGELIN, 2014).
- Métodos Baseados em Hardware: São aqueles que utilizam sensores próprios para a medição do vazamento. Estes também fazem uso de software, a principal diferença entre eles é que o hardware utiliza 4 sensores exclusivos na detecção do vazamento, enquanto o de software usa os sensores que existem dentro dos dutos para o acompanhamento operacional (WEGELIN, 2014).
Entre os métodos usados em Hardware, podemos destacar os acústicos, ópticos e ultrassônicos (WEGELIN, 2014).
O acústico é usado para medir o ruído interno do duto, gerando um sinal acústico podendo ser detectados pelos sensores (WEGELIN, 2014).
Já os ópticos podem ser classificados como ativos ou passivos. Os ativos são os que iluminam a área do duto com um laser ou com uma fonte grande de espectro, monitorando a absorção de radiação emitidas pelas moléculas de gás natural, se houver variação alta, então pode se dizer que é vazamento. Os passivos são aqueles que não demandam uma fonte de radiação, destacando-se o método por imagem térmica e a imagem multiespectral (WEGELIN, 2014).
- Métodos Baseados em Softwares: São os que usam algoritmos que controlam a temperatura, vazão, densidade, e outros parâmetros dos dutos.
Neste método utiliza várias abordagens, como por exemplo: onda de pressão negativa, balanço de massa, conservação de massa com compensação da variação da massa interna do duto, Real-Time Transient Modeling ou métodos baseados em ferramentas estatísticas (WEGELIN, 2014).
- Redes Neurais Artificiais: Os sistemas baseados em Inteligência Artificial têm mostrado resultados promissores em seu desenvolvimento, sendo estes aplicados à diversas áreas da engenharia, matemática, medicina, física, etc. apresentando um domínio de pesquisa multidisciplinar (AGUIAR, 2010).
No que se refere à inteligência artificial (IA), destacam-se os Algoritmos Genéticos, Lógica Difusa e Redes Neurais Artificiais (FILLIPATI F., et al., 2000), sendo este trabalho focalizado em Redes Neurais Artificiais (RNAs) (apud AGUIAR, 2000).
De acordo com Selli e Selegim (2007), nas análises matemáticas,

as RNAs são definidas como um mapeamento não-linear de um vetor de espaço de entrada para um vetor de espaço de saída, podendo ser feito através de camadas de funções de ativação e neurônios, nos quais coordenadas de entrada são somadas de acordo com o valor de seus respectivos pesos e “bias” para produzir uma saída simples (apud AGUIAR, 2010).

Esta análise matemática tem inspiração biológica, o cérebro. Este é constituído por unidades funcionais, chamadas neurônios, os quais emitem impulsos elétricos em resposta a estímulos (TIMOSZCZUH, 2004). Essas unidades são grandemente interconectadas, tendo como resultado uma estrutura arquitetônica complexa. Inspirado nisso, muitos modelos matemáticos foram desenvolvidos, refletindo sobre o funcionamento do cérebro humano (TAGLIARINI, et al., 1991. apud AGUIAR, 2010).

- Rede Perceptron Multicamadas e algoritmo de treinamento backpropagation: Esta rede (Figura 4) é caracterizada pela presença de múltiplas camadas de unidades básicas de processamento do tipo Perceptron (GUYON I, 1991 apud, AGUIAR, 2010).

Figura 4 – Multiple Back – Propagation Version 2.2.5



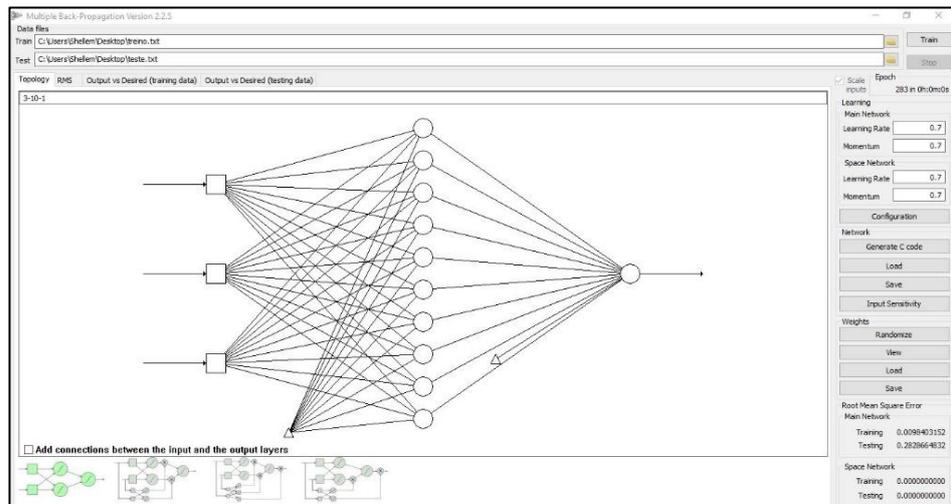
Fonte: o Autor

A rede é composta por uma camada de entrada e uma camada de neurônios de saída, podendo ter inúmeras camadas internas, chamadas de camadas escondidas. Cada camada pode conter neurônios perceptrons, sendo que as saídas destes podem gerar a entrada de neurônios da camada subsequente, desde a camada de entrada até a de saída.

Neste formato de rede, não há retroalimentação, pois, a propagação da rede neural é unidirecional.

Para o treinamento da rede, utiliza-se o algoritmo backpropagation (Figura 5), apresentado um conjunto de treinamento da rede neural, com pares de entrada e saídas conhecidos (AGUIAR, 2010).

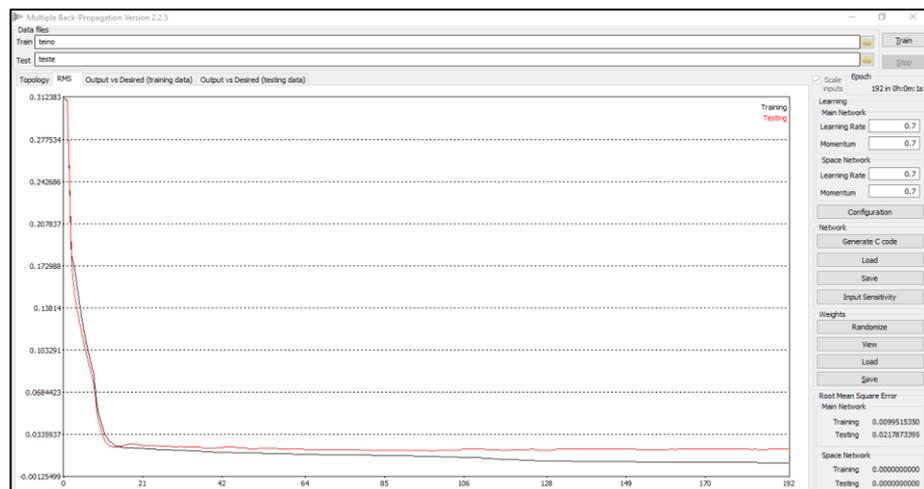
Figura 5 – Topologia dos neurônios a serem utilizados



Fonte: o Autor

O vetor de entrada é propagado, camada a camada, até a camada de saída. O vetor de saída da rede é então comparado ao vetor de saída desejado (Figura 6), sendo a diferença entre ambas saídas (calculada e desejada) o erro de saída da rede (AGUIAR, 2010).

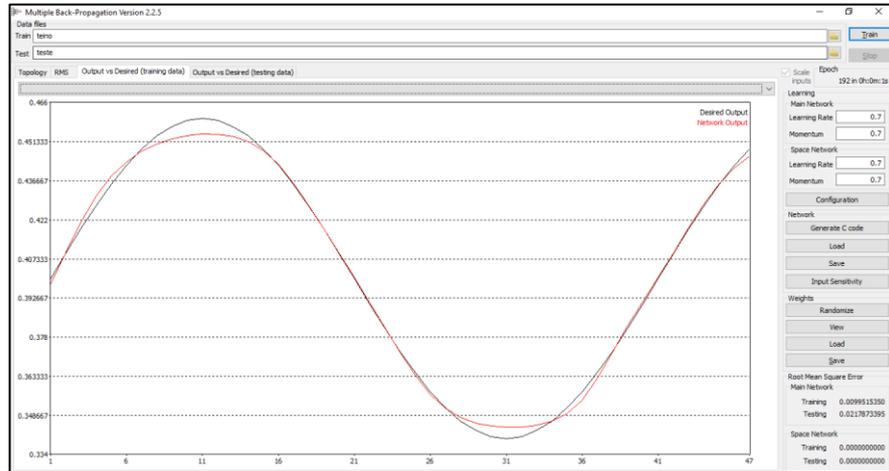
Figura 6 – Curva de erro



Fonte: o Autor

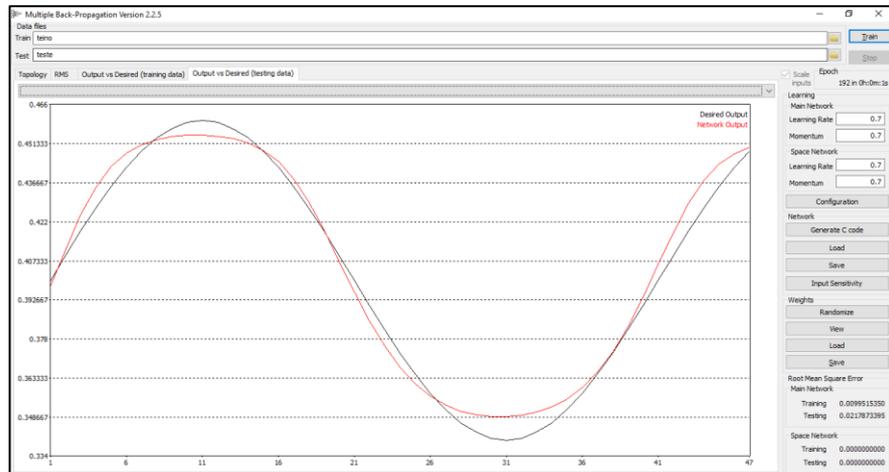
Este erro então será retro propagado na rede, com a finalidade de ajustar os pesos sinápticos (Figura 7 e Figura 8), para que na próxima iteração o erro seja reduzido (AGUIAR, 2010).

Figura 7 – Saída vs desejado (dados de treinamento)



Fonte: o Autor

Figura 8 – Saída vs desejado (dados de teste)



Fonte: o Autor

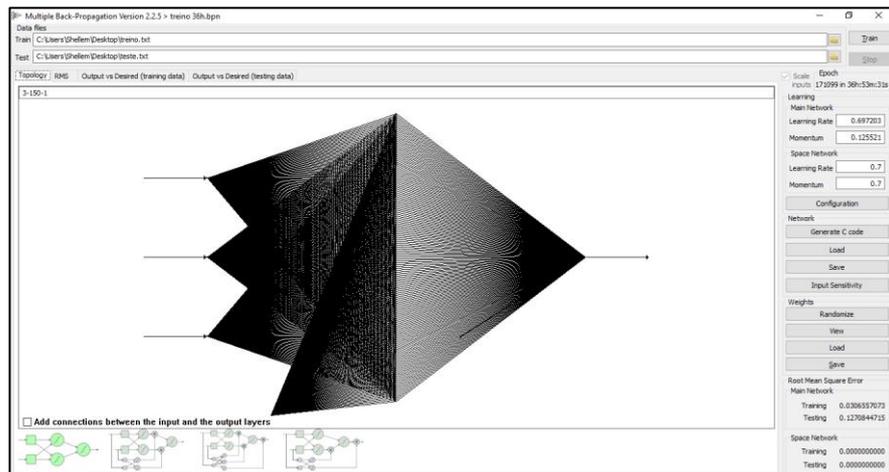
Para o treinamento da rede neural, os dados coletados com o protótipo foram inseridos em um bloco de notas (programa compatível para inserção de dados no software Multiple Back Propagation), contendo os valores de entrada, sendo eles: temperatura, tempo, vazão; e os valores de saída: caracterizados pelo volume.

Com a adequação dos arquivos, estes foram divididos em dois grupos: de treino e de teste.

Para que a rede neural fosse treinada, foi necessário primeiramente indicar o número de neurônios para verificar os resultados obtidos. Com um número baixo de neurônios, a rede neural não atuou de forma eficaz, prejudicando na interpretação de seus resultados.

Após uma série de treinamentos, foi-se alcançado um total de 150 (cento e cinquenta) neurônios (Figura 9). O número de neurônios já utilizada na RNA é alta, por motivos da quantidade de dados coletados, dados esses que ainda estão em estudo, porém sabe-se que não há uma fórmula para determinar uma quantidade correta de neurônios nas camadas escondidas. (AGUIAR, 2010).

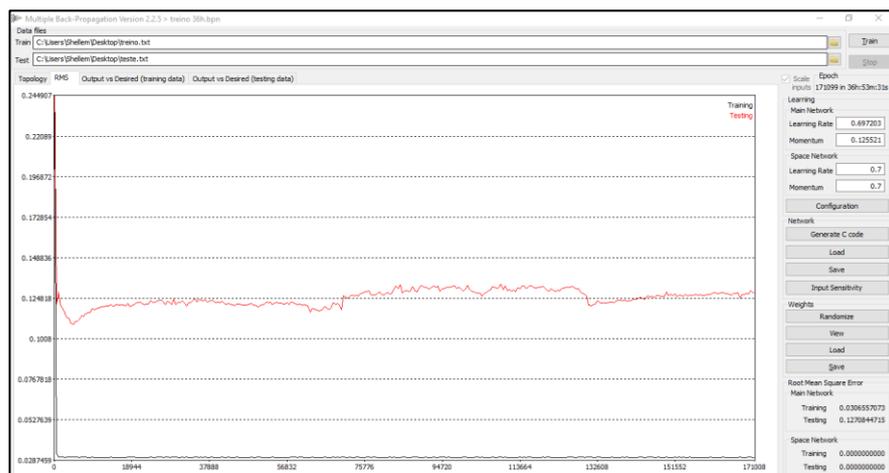
Figura 9 – Topologia dos 150 neurônios utilizados



Fonte: o Autor

O treinamento da rede durou no total 36 horas, 53 minutos e 31 segundos, resultando em um erro consideravelmente alto, demonstrado na Figura 10, de aproximadamente 0,12% por conta da quantidade de valores coletados até o momento.

Figura 10 – Curva de erro proveniente do treinamento



Fonte: o Autor

Após o final do treinamento acima, pôde-se observar os pesos da rede (Network Weights) ao longo do seu treinamento, em forma de tabela (Figura 11A e 11B). Nesta é possível visualizar cada neurônio escondido na rede e como ele se comportou, desde os valores de entrada do treinamento, até os neurônios de saída

(Figura 12), variando de acordo com a mudança das variáveis utilizadas como controladoras do processo.

Figura 11A e 11B – Network Weights – Camada de Entrada

		from the input layer																																																														
to the 1th hidden layer	bias	1th neuron	2th neuron	3th neuron	122th neuron	123th neuron	124th neuron	125th neuron	126th neuron	127th neuron	128th neuron	129th neuron	130th neuron	131th neuron	132th neuron	133th neuron	134th neuron	135th neuron	136th neuron	137th neuron	138th neuron	139th neuron	140th neuron	141th neuron	142th neuron	143th neuron	144th neuron	145th neuron	146th neuron	147th neuron	148th neuron	149th neuron	150th neuron																															
1th neuron	-2.63732	-2.5355	-3.03595	-2.21107	-1.81574	-0.802761	-2.07039	0.575696	-2.01892	0.267249	-2.22456	-0.0628485	-2.76083	-1.48683	-1.23564	1.04202	-2.5355	-3.03595	-2.21107	-1.81574	-0.802761	-2.07039	0.575696	-2.01892	0.267249	-2.22456	-0.0628485	-2.76083	-1.48683	-1.23564	1.04202																																	
2th neuron	-2.13835	0.424579	-2.17286	0.110139	-1.5301	-0.71439	-2.03	1.5204	-2.15806	-1.39052	-2.23631	-0.0169859	-1.65491	-1.46147	-2.33859	1.2005	-1.84005	-1.85819	-2.26212	1.04284	-2.03838	-0.451296	-2.65211	-0.420752	-2.50622	-1.55369	-1.58689	0.423084	-1.57737	-1.03897	-2.34284	0.414651																																
3th neuron	-2.15806	-1.39052	-2.23631	-0.0169859	-2.88267	0.493102	-2.33828	-0.739141	-2.57236	-1.02183	-1.93104	-0.192109	-2.99941	-1.70731	-1.91479	-0.938332	-2.02924	-0.592502	-1.94275	0.827776	-1.95626	-1.27703	-1.99472	0.652014	-2.88267	0.493102	-2.33828	-0.739141	-2.75891	-0.38074	-1.29634	0.614684																																
4th neuron	-1.84005	-1.85819	-2.26212	1.04284	-2.96485	-0.787055	-1.21484	0.0612821	-2.96485	-0.787055	-1.21484	0.0612821	-2.96485	-0.787055	-1.21484	0.0612821	-2.96485	-0.787055	-1.21484	0.0612821	-2.96485	-0.787055	-1.21484	0.0612821	-2.96485	-0.787055	-1.21484	0.0612821	-2.96485	-0.787055	-1.21484	0.0612821																																
5th neuron	-2.50622	-1.55369	-1.58689	0.423084	-2.0012	0.437443	-2.26689	0.15987	-2.0012	0.437443	-2.26689	0.15987	-2.0012	0.437443	-2.26689	0.15987	-2.0012	0.437443	-2.26689	0.15987	-2.0012	0.437443	-2.26689	0.15987	-2.0012	0.437443	-2.26689	0.15987	-2.0012	0.437443	-2.26689	0.15987																																
6th neuron	-2.57236	-1.02183	-1.93104	-0.192109	-2.75891	-0.38074	-1.29634	0.614684	-2.75891	-0.38074	-1.29634	0.614684	-2.75891	-0.38074	-1.29634	0.614684	-2.75891	-0.38074	-1.29634	0.614684	-2.75891	-0.38074	-1.29634	0.614684	-2.75891	-0.38074	-1.29634	0.614684	-2.75891	-0.38074	-1.29634	0.614684																																
7th neuron	-2.02924	-0.592502	-1.94275	0.827776	-2.88267	0.493102	-2.33828	-0.739141	-2.02924	-0.592502	-1.94275	0.827776	-2.88267	0.493102	-2.33828	-0.739141	-2.02924	-0.592502	-1.94275	0.827776	-2.88267	0.493102	-2.33828	-0.739141	-2.02924	-0.592502	-1.94275	0.827776	-2.88267	0.493102	-2.33828	-0.739141																																
8th neuron	-2.88267	0.493102	-2.33828	-0.739141	-2.75891	-0.38074	-1.29634	0.614684	-2.88267	0.493102	-2.33828	-0.739141	-2.75891	-0.38074	-1.29634	0.614684	-2.88267	0.493102	-2.33828	-0.739141	-2.75891	-0.38074	-1.29634	0.614684	-2.88267	0.493102	-2.33828	-0.739141	-2.75891	-0.38074	-1.29634	0.614684																																
9th neuron	-2.75891	-0.38074	-1.29634	0.614684	-2.96485	-0.787055	-1.21484	0.0612821	-2.96485	-0.787055	-1.21484	0.0612821	-2.96485	-0.787055	-1.21484	0.0612821	-2.96485	-0.787055	-1.21484	0.0612821	-2.96485	-0.787055	-1.21484	0.0612821	-2.96485	-0.787055	-1.21484	0.0612821	-2.96485	-0.787055	-1.21484	0.0612821																																
10th neuron	-2.96485	-0.787055	-1.21484	0.0612821	-2.0012	0.437443	-2.26689	0.15987	-2.0012	0.437443	-2.26689	0.15987	-2.0012	0.437443	-2.26689	0.15987	-2.0012	0.437443	-2.26689	0.15987	-2.0012	0.437443	-2.26689	0.15987	-2.0012	0.437443	-2.26689	0.15987	-2.0012	0.437443	-2.26689	0.15987																																
11th neuron	-2.0012	0.437443	-2.26689	0.15987	-2.18228	0.982667	-2.30149	0.0385886	-2.18228	0.982667	-2.30149	0.0385886	-2.18228	0.982667	-2.30149	0.0385886	-2.18228	0.982667	-2.30149	0.0385886	-2.18228	0.982667	-2.30149	0.0385886	-2.18228	0.982667	-2.30149	0.0385886	-2.18228	0.982667	-2.30149	0.0385886																																
12th neuron	-2.18228	0.982667	-2.30149	0.0385886	-1.56781	-1.20227	-2.29513	1.17765	-1.56781	-1.20227	-2.29513	1.17765	-1.56781	-1.20227	-2.29513	1.17765	-1.56781	-1.20227	-2.29513	1.17765	-1.56781	-1.20227	-2.29513	1.17765	-1.56781	-1.20227	-2.29513	1.17765	-1.56781	-1.20227	-2.29513	1.17765																																
13th neuron	-1.56781	-1.20227	-2.29513	1.17765	-2.27689	0.455914	-2.34306	-0.301761	-2.27689	0.455914	-2.34306	-0.301761	-2.27689	0.455914	-2.34306	-0.301761	-2.27689	0.455914	-2.34306	-0.301761	-2.27689	0.455914	-2.34306	-0.301761	-2.27689	0.455914	-2.34306	-0.301761	-2.27689	0.455914	-2.34306	-0.301761																																
14th neuron	-2.27689	0.455914	-2.34306	-0.301761	-2.0655	0.0557211	-2.36977	-0.167598	-2.0655	0.0557211	-2.36977	-0.167598	-2.0655	0.0557211	-2.36977	-0.167598	-2.0655	0.0557211	-2.36977	-0.167598	-2.0655	0.0557211	-2.36977	-0.167598	-2.0655	0.0557211	-2.36977	-0.167598	-2.0655	0.0557211	-2.36977	-0.167598																																
15th neuron	-2.0655	0.0557211	-2.36977	-0.167598	-2.38644	-1.23324	-1.61109	0.883867	-2.38644	-1.23324	-1.61109	0.883867	-2.38644	-1.23324	-1.61109	0.883867	-2.38644	-1.23324	-1.61109	0.883867	-2.38644	-1.23324	-1.61109	0.883867	-2.38644	-1.23324	-1.61109	0.883867	-2.38644	-1.23324	-1.61109	0.883867																																
16th neuron	-2.38644	-1.23324	-1.61109	0.883867	-3.03362	-0.354683	-1.56684	-0.203803	-3.03362	-0.354683	-1.56684	-0.203803	-3.03362	-0.354683	-1.56684	-0.203803	-3.03362	-0.354683	-1.56684	-0.203803	-3.03362	-0.354683	-1.56684	-0.203803	-3.03362	-0.354683	-1.56684	-0.203803	-3.03362	-0.354683	-1.56684	-0.203803																																
17th neuron	-3.03362	-0.354683	-1.56684	-0.203803	-2.56725	-2.16073	-2.75097	-1.66102	-2.56725	-2.16073	-2.75097	-1.66102	-2.56725	-2.16073	-2.75097	-1.66102	-2.56725	-2.16073	-2.75097	-1.66102	-2.56725	-2.16073	-2.75097	-1.66102	-2.56725	-2.16073	-2.75097	-1.66102	-2.56725	-2.16073	-2.75097	-1.66102																																
18th neuron	-2.56725	-2.16073	-2.75097	-1.66102	-2.02996	-1.25297	-1.99177	0.302294	-2.02996	-1.25297	-1.99177	0.302294	-2.02996	-1.25297	-1.99177	0.302294	-2.02996	-1.25297	-1.99177	0.302294	-2.02996	-1.25297	-1.99177	0.302294	-2.02996	-1.25297	-1.99177	0.302294	-2.02996	-1.25297	-1.99177	0.302294																																
19th neuron	-2.02996	-1.25297	-1.99177	0.302294	-1.29147	-1.21191	-2.36048	1.56291	-1.29147	-1.21191	-2.36048	1.56291	-1.29147	-1.21191	-2.36048	1.56291	-1.29147	-1.21191	-2.36048	1.56291	-1.29147	-1.21191	-2.36048	1.56291	-1.29147	-1.21191	-2.36048	1.56291	-1.29147	-1.21191	-2.36048	1.56291																																
20th neuron	-1.29147	-1.21191	-2.36048	1.56291	-2.23988	-0.467968	-1.66796	0.278911	-2.23988	-0.467968	-1.66796	0.278911	-2.23988	-0.467968	-1.66796	0.278911	-2.23988	-0.467968	-1.66796	0.278911	-2.23988	-0.467968	-1.66796	0.278911	-2.23988	-0.467968	-1.66796	0.278911	-2.23988	-0.467968	-1.66796	0.278911																																
21th neuron	-2.23988	-0.467968	-1.66796	0.278911	-2.11452	-0.164205	-1.8216	0.606631	-2.11452	-0.164205	-1.8216	0.606631	-2.11452	-0.164205	-1.8216	0.606631	-2.11452	-0.164205	-1.8216	0.606631	-2.11452	-0.164205	-1.8216	0.606631	-2.11452	-0.164205	-1.8216	0.606631	-2.11452	-0.164205	-1.8216	0.606631																																
22th neuron	-2.11452	-0.164205	-1.8216	0.606631	-2.98983	-3.15073	-2.75856	-3.09892	-2.98983	-3.15073	-2.75856	-3.09892	-2.98983	-3.15073	-2.75856	-3.09892	-2.98983	-3.15073	-2.75856	-3.09892	-2.98983	-3.15073	-2.75856	-3.09892	-2.98983	-3.15073	-2.75856	-3.09892	-2.98983	-3.15073	-2.75856	-3.09892																																
23th neuron	-2.98983	-3.15073	-2.75856	-3.09892	-8.50805	14.2917	-8.65711	3.76961	-8.50805	14.2917	-8.65711	3.76961	-8.50805	14.2917	-8.65711	3.76961	-8.50805	14.2917	-8.65711	3.76961	-8.50805	14.2917	-8.65711	3.76961	-8.50805	14.2917	-8.65711	3.76961	-8.50805	14.2917	-8.65711	3.76961																																
24th neuron	-8.50805	14.2917	-8.65711	3.76961	-2.25806	-1.52011	-1.84832	0.57248	-2.25806	-1.52011	-1.84832	0.57248	-2.25806	-1.52011	-1.84832	0.57248	-2.25806	-1.52011	-1.84832	0.57248	-2.25806	-1.52011	-1.84832	0.57248	-2.25806	-1.52011	-1.84832	0.57248	-2.25806	-1.52011	-1.84832	0.57248																																
25th neuron	-2.25806	-1.52011	-1.84832	0.57248	-1.9351	0.375227	-2.28277	0.28609	-1.9351	0.375227	-2.28277	0.28609	-1.9351	0.375227	-2.28277	0.28609	-1.9351	0.375227	-2.28277	0.28609	-1.9351	0.375227	-2.28277	0.28609	-1.9351	0.375227	-2.28277	0.28609	-1.9351	0.375227	-2.28277	0.28609																																
26th neuron	-1.9351	0.375227	-2.28277	0.28609	-2.19451	-0.839512	-2.07927	0.254653	-2.19451	-0.839512	-2.07927	0.254653	-2.19451	-0.839512	-2.07927	0.254653	-2.19451	-0.839512	-2.07927	0.254653	-2.19451	-0.839512	-2.07927	0.254653	-2.19451	-0.839512	-2.07927	0.254653	-2.19451	-0.839512	-2.07927	0.254653																																
27th neuron	-2.19451	-0.839512	-2.07927	0.254653	-2.57494	-0.180772	-1.4369	0.661949	-2.57494	-0.180772	-1.4369	0.661949	-2.57494	-0.180772	-1.4369	0.661949	-2.57494	-0.180772	-1.4369	0.661949	-2.57494	-0.180772	-1.4369	0.661949	-2.57494	-0.180772	-1.4369	0.661949	-2.57494	-0.180772	-1.4369	0.661949																																
28th neuron	-2.57494	-0.180772	-1.4369	0.661949	122th neuron	-1.81574	-0.802761	-2.07039	0.575696	123th neuron	-2.01892	0.267249	-2.22456	-0.0628485	124th neuron	-2.76083	-1.48683	-1.23564	1.04202	125th neuron	-1.5301	-0.71439	-2.03	1.5204	126th neuron	-1.65491	-1.46147	-2.33859	1.2005	127th neuron	-2.03838	-0.451296	-2.65211	-0.420752	128th neuron	-1.57737	-1.03897	-2.34284	0.414651	129th neuron	-2.99941	-1.70731	-1.91479	-0.938332	130th neuron	-1.95626	-1.27703	-1.99472	0.652014	131th neuron	-2.88044	-0.0832625	-1.59262	-0.186257	132th neuron	-3.10825	-1.17316	-1.3878	-0.261565	133th neuron	-1.53784	-1.45722	-2.3489	1.29114</

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus, ao nosso orientador pela força que deu na elaboração deste trabalho.

Agradecemos também a nossa família, por todo apoio e incentivo nas nossas iniciativas, que são seres que completam as nossas vidas em todos os sentidos.

Enfim, a todos que colaboraram de forma direta e indireta na realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

Aguiar, F. G. **“Utilização de Redes Neurais Artificiais para detecção de padrões de vazamento em dutos.”** 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Escola de São Carlos Engenharia da Universidade de São Paulo, São Carlos.

Nassar, B., Moura, C., Souza, M. 2014. **“Vazamentos de Dutos.”** ATMOS engenharia de climatização, agosto 2014. 5p.

Osório, F., Bittencourt, J. R. **“Sistemas Inteligentes baseados em Redes Neurais Artificiais aplicados ao Processamento de Imagens.”** I Workshop de Inteligência Artificial UNISC – Universidade de Santa Cruz do Sul Departamento de Informática, 2000. 30p.

Pommerenzenbaum, I. R. **“Redes neurais na predição das principais séries do índice IBOVESPA e suas aplicações em sistemas automatizados de negociação.”** Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia COPPE UFRJ, 2014. 126p.

Santos, W. R. dos. 2016. **“A importância da inspeção em dutos submarinos na prevenção de riscos ambientais em águas oceânicas.”** Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC, 2016. 5p.

Wegelin, F. A. **“Sistema de detecção de vazamentos em dutos utilizando filtragem adaptativa.”** Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia COPPE UFRJ, 2014. 80p.

BRIQUETES ECOLÓGICOS A PARTIR DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS DE PINUS E EUCALIPTO



Leticia Rodrigues¹, Nayara Amany Dobzinski², Vaniele Oliveira de Melo³, Marcelo Coelho dos Santos Muguet⁴

RESUMO

O conflito energético e a busca por energias renováveis são pontos de estudo incessantes, nos quais cada vez mais pesquisadores buscam uma nova alternativa de energia que seja viável, ou seja, uma energia econômica e que não agrida ao meio ambiente, uma dessas alternativas é a briquetagem com casca de árvore. A casca de Pinus e Eucalipto é na maioria das vezes um resíduo que pode chegar a 70% do desperdício em indústrias do ramo moveleiro, papel e celulose, florestal, entre outros. Dessa forma, o objetivo deste trabalho é explorar qual o melhor método de se fazer um briquete ecológico, isto é, sem adição de aglutinantes, a partir da casca de Pinus ou Eucalipto. Para essa discussão foram realizados estudos que visam a utilização desses resíduos e testes para a comprovação dos mesmos: granulometria, umidade, teor de extrativos, lignina, cinzas e poder calorífico. De acordo com o referencial teórico estudado e os testes realizados, por suas características físicas e excelentes propriedades caloríficas, a casca de Pinus apresentou vantagens sobre a casca de Eucalipto, portanto o briquete da casca de Pinus constitui-se de uma excelente fonte de energia.

Palavras-chave: Energia; Casca; Briquetes ecológicos;

ABSTRACT

The energy conflict and the search for renewable energies are incessant study points, where researchers are increasingly looking for a new alternative energy that does not harm the environment. One of these alternatives is the briquetting of tree bark. The eucalyptus and pine bark are most of times a residue that can be up to 70% of waste from the furniture, pulp and paper, among other industries. In this way, the objective of this article is to explore what is the better way to make an ecologic briquette, without addition of binders, from eucalypt and pine bark. Studies were carried out looking for the use of these wastes and several tests were performed: granulometry, moisture, extractives content, lignin content, ash content and heating value. According to the references studied and the tests performed, due to their physical characteristics and excellent heat properties, the bark of Pine presented advantages over eucalyptus bark, therefore the briquette of the Pine bark is an excellent source of energy.

Key-words: Energy; Bark; Eco briquett

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, pode-se dizer que o mundo é movido pelas novas tecnologias, e que algumas dessas tecnologias exigem uma demanda muito alta de energia para serem utilizadas com qualidade. O conflito energético e a busca por energias renováveis são pontos de estudo incessantes, nos quais cada vez mais pesquisadores buscam uma nova alternativa de energia que seja viável, ou seja, uma energia econômica e que não agride ao meio ambiente, uma dessas alternativas é a briquetagem.

Um dos maiores problemas e desafio da atual realidade mundial é o descarte de resíduos, sendo as indústrias as maiores produtoras e muitas vezes não dão uma destinação correta para os mesmos. Além disso, é possível dizer que no Brasil, a indústria com base florestal gera uma quantidade de resíduo significativa durante seus processos, desde a colheita florestal até o seu produto final.

Uma forma de utilização dos resíduos seria transformá-los em biocombustíveis sólidos, através da briquetagem. Os briquetes surgiram como alternativa ao uso da madeira, e podem ser utilizados para a alimentação de caldeiras em processos industriais, produzindo energia. O objetivo do processo está em transformar um resíduo de baixa densidade em uma lenha ecológica de alta qualidade.

O aumento na densidade que o processo de compactação proporciona é capaz de produzir um combustível com maior concentração energética. Desse modo a resistência adquirida pelo material demonstra uma melhoria econômica e comportamental para o transporte em maiores distâncias.

A forma mais indicada para briquetes são com o formato de pequenos cilindros. Este modelo é mais indicado para materiais com alto teor de matérias voláteis. Considera-se que 1m³ de briquetes contém cinco vezes mais energia que 1m³ de resíduos em sua forma original, levando-se em consideração a densidade e o poder calorífico, sendo considerada uma forma mais eficiente de concentrar a energia disponível na biomassa.

A adoção deste tipo de energia ajuda a reduzir o consumo das fontes não renováveis, oferecendo um destino sustentável para resíduos industriais, agropecuários e urbanos, levando à redução do volume anual aterrados ou descartados. Além disso, é possível a redução da implantação de novos aterros sanitários, evitando a possível degradação da vegetação, entre outros problemas, ajudando na preservação da natureza e na economia de energia, aumentando então a demanda de energias renováveis em todo o mundo.

Diversos estudos já foram conduzidos sobre a utilização dos resíduos da casca de Eucalipto e Pinus gerados pelas indústrias para a produção de briquetes ecológicos. Alguns deles (Chan, 2009) afirmam que não é necessária a adição de aglutinantes no seu processo, pois o aumento da temperatura faz com a lignina se torne plástica e atue como ligante natural das partículas durante a compactação para a formação do briquete. Deste modo, verifica-se que o briquete possui excelentes propriedades caloríficas, sendo produzido a partir de resíduos ligno- celulósicos, com investimento baixo, obtendo-se assim uma excelente fonte de energia renovável.

O objetivo deste trabalho foi avaliar as características físico-químicas e térmicas de briquetes produzidos a partir de resíduos industriais de Pinus e Eucalipto.

¹Acadêmica de Engenharia Química - FATEB – e-mail: <leticiao19@hotmail.com >.

²Acadêmica de Engenharia Química - FATEB – e-mail: <nayaraamany@gmail.com>.

³Acadêmica de Engenharia Química - FATEB – e-mail: <vaniele17@gmail.com>.

⁴Professor Doutor, Engenharia Química - FATEB – e-mail:<marcelomuguet@gmail.com>

2. METODOLOGIA

Cascas de pinus e eucalipto foram doadas por uma empresa da região de Telêmaco Borba - PR, onde as mesmas usualmente são descartadas.

O primeiro passo para a formação dos briquetes é a redução e homogeneização da granulometria. Para tal, as cascas de ambas espécies foram passadas em moinho tipo Willey e coletadas para posterior formação dos briquetes ecológicos.

A norma utilizada para o teste de umidade foi a ABNT NBR 14929 (Determinação de teor de umidade de cavacos). Inicialmente, o pesa filtro foi seco em estufa a 105°C e resfriado em dessecador até temperatura ambiente para pesagem. Posteriormente foi pesado a amostra úmida e colocado na estufa, durante 16 horas, pesado no intervalo de 2 horas, até a obtenção da massa constante.

Para o teste de granulometria, as peneiras no vibrador automático são alinhadas em ordem crescente de mesh. As peneiras escolhidas para o teste foram de mesh 30, 50, 80, 100, 200. Pesa-se a amostra seca em estufa a 105°C, e coloca-se durante 2 minutos e 30 segundos no vibrador automático. A amostra retida em cada peneira foi seca em estufa e pesada separadamente. O teste foi realizado conforme a norma ABNT NBR 16448.

O teor de extrativos foi analisado seguindo a norma ABNT NBR 14853 (Madeira, Determinação do material solúvel em etanol-tolueno, em diclorometano e em acetona). Foram utilizados três solventes nas respectivas ordens, sendo eles o diclorometano, acetona e etanol-tolueno. Os materiais utilizados foram pesa filtro, papel filtro, dedal de extração, balão de fundo chato e arredondado, tubo extrator, condensador, chapa e manta aquecedora. As análises foram realizadas em duplicata, sendo utilizadas frações aceitas em mesh 40 (0,40mm). As amostras foram secas em estufa a 105°C até o peso constante e então inseridas no tubo de extração soxhlet. Para cada teste, foram preparados 130 mL de solvente em cada balão: o primeiro solvente utilizado foi o diclorometano, após a acetona e em seguida etanol-tolueno. Cada solvente foi mantido sob fervura até completar 24 refluxos, o que levou cerca de 3h. Após a extração, a amostra foi seca até peso constante em estufa a temperatura de 60°C.

Para determinar o teor de lignina, a norma utilizada foi a ABNT NBR 7989 (Pasta celulósica e madeira. Determinação de lignina insolúvel em ácido). O teste foi feito em duplicata, e para essa análise, a amostra deve estar livre de extrativos. Ácido sulfúrico a uma concentração de 72% foi utilizado. Em seguida foi preparado banho maria capaz de manter a temperatura de $\pm 20^{\circ}\text{C}$ e pesado 1 g seca da amostra e transferida para um béquer. O béquer foi colocado em banho maria e com uma pipeta foi medido 15 mL de ácido sulfúrico 72%, adicionado ao béquer em pequenas quantidades até que a amostra fosse dissolvida. Após a amostra estar dissolvida o béquer foi coberto com vidro relógio e agitado frequentemente por uma hora. Após, a amostra presente no béquer com H_2SO_4 foi transferida a um Erlenmeyer de 1000 mL, utilizando cerca de 300 mL de água destilada para lavar o béquer. Logo após, o erlenmeyer foi completado com água até a marca de 575 mL, a solução foi fervida por 2 horas, mantendo o volume constante. Após fervido, o material foi decantado por um dia. Em seguida filtrado com cadinho de fundo poroso com o auxílio de uma bomba à vácuo. O material presente no cadinho foi seco em estufa a 105°C e depois pesado para obtenção do resultado.

Seguindo a norma ABNT NBR 13999 para determinação de resíduo (cinza) após incineração a 525°C e a norma ABNT NBR NM-ISO 2144 para determinação de resíduo da incineração a 900°C, primeiramente foi aquecido o cadinho de cerâmica na mufla, sem amostra, durante 60 minutos, numa temperatura de 525°C, depois retirado e resfriado até temperatura ambiente, em dessecador, para pesagem com balança de precisão de 0,1 mg. Adicionou-se a amostra seca e imediatamente foi pesado

novamente. Com o intuito de não inflamar a amostra, a temperatura foi aumentada lentamente, e depois de atingida a temperatura de 525°C, a amostra foi retirada após 3 horas, esfriada a temperatura ambiente em dessecador e pesada. O mesmo procedimento acontece para incineração a 900°C.

No processo de briquetagem, precisa-se de temperatura para que o briquete seja compactado. Deste modo as amostras foram colocadas em estufa a 105°C, e depois compactadas em prensa hidráulica.

A determinação do poder calorífico dos briquetes foi realizada conforme o procedimento do equipamento Parr 6200. Os testes foram realizados em duplicata. O teste inicia-se com a pesagem de cerca de 0,6 g de amostra seca. Coloca-se a amostra no equipamento, informando-o o peso seco da amostra, e posteriormente o equipamento mostra os resultados no display.

3. DESENVOLVIMENTO

De acordo com BAUER (2015) a granulometria ideal para formação de briquetes é a retida no mesh 30. A casca de pinus teve uma maior quantidade de amostra nesse mesh, portanto, nesse aspecto a casca de pinus obtém maior vantagem para a produção de briquetes (Tabela 1). Segundo OSHIRO (2016) a granulometria é uma especificação controlada, pois influencia na densificação de resíduos de origem vegetal para serem compactados. O peneiramento promove a separação de partículas geradas na moagem em granulometrias diferentes, eliminando partículas indesejadas no processo. Em estudo realizado por Relova et al. (2009), foi verificado que para a produção de briquetes de cascas de pinus, o melhor tamanho de partícula é entre 1 a 2 mm.

Tabela 1: Análises de granulometria das cascas de pinus e eucalipto moídas.

	<i>Pinus (%)</i>	<i>Eucalipto (%)</i>
<i>Mesh 30</i>	0,77	0,05
<i>Mesh 40</i>	21,62	0,09
<i>Mesh 50</i>	26,41	0,55
<i>Mesh 80</i>	25,64	22,41
<i>Mesh 100</i>	8,28	29,01
<i>Mesh 200</i>	15,41	38,06
<i>Fundo</i>	1,88	9,83

O controle de umidade é fundamental para a formação de briquetes. Se a umidade for alta, o seu poder calorífico pode ser representado de forma negativa, entretanto, se a umidade for baixa ela irá dificultar a compactação da casca na hora da briquetagem. Dessa forma, o Eucalipto demonstra certa vantagem, visto que um mínimo desejável seria 3 % e o máximo 13 %, sendo determinado cerca de 12,95% de umidade nas análises realizadas, como está descrito na Tabela 2 (ROWELL, 2005). Em estudo com casca de pinus, Relova et al. (2009) corrobora este fato, demonstrando que não houve diferença significativa na qualidade dos pellets produzidos de cascas com 9,5 e 13% de umidade.

O resultado do teor de extrativos presentes na casca de Eucalipto e Pinus condiz com os referenciais estudados, sendo maior em Pinus (12,8%), do que o extrativo presente no Eucalipto (11,4%), visto que a casca das árvores possui um teor de extrativos maior do que aquele que há diretamente na madeira (Tabela 2).

Segundo Rowell, et al, (2005) os métodos de análise de extrativos desenvolvidos para o estudo da madeira não podem ser aplicados à casca diretamente. Existem diversos compostos na casca que não são encontrados na madeira, e que interferem nesses métodos de análise. A determinação de extrativos na casca da madeira não influencia na fabricação de briquetes, porém, para ser realizado o teste de lignina a amostra precisa estar livre de extrativos.

De acordo com KLOCK (2013) é maior teor de lignina em coníferas do que em folhosas, por que existem algumas diferenças estruturais entre a lignina encontrada nas coníferas e nas folhosas sendo comprovada pela análise realizada com os resultados presentes na Tabela 2. Para a produção de briquetes quanto maior for o teor de lignina melhor é para a compactação das moléculas, sendo que pelo fato de ser um briquete ecológico, sem adição de aglutinantes, a lignina faz essa função, sendo plastificada na hora da briquetagem, dando assim resistência ao briquete. Desse modo a casca de Pinus é mais eficientemente plastificada na hora da briquetagem, dando assim resistência ao briquete. Desse modo a casca de Pinus é mais eficiente.

OSHIRO (2016) diz na análise química, que o desejável para a produção energética, é que o material tenha pequena quantidade de cinzas pois quanto menor for a quantidade de matéria inorgânica presente melhor será a capacidade de queima. Então ao analisar o teor de cinzas espera-se que este seja o menor possível, apresentando a maior combustibilidade. Sendo assim, a casca que apresentou menor cinzas tanto a 525°C e 900°C foi a casca de Pinus, sendo então o desejável para a produção de briquetes. Segundo Gonçalves et. al, (2009) cita que o teor de combustível é um parâmetro importante na produção do briquete, pois é um indicador da porcentagem de material que possui uma geração de calor, e as cinzas não produzem calor, sendo considerado um material inerte. Em estudo realizado com pellets de casca de eucalipto, grande parte destas cinzas tem íons cloreto, o que pode reagir com gases e formar cloreto de potássio, levando a corrosões e baixa eficiência de tubos de caldeiras (Jirukkakul e Arjharn, 2017).

Tabela 2: Análises químicas das cascas de pinus e eucalipto.

	<i>Extrativos</i> (%)	<i>Lignina</i> (%)	<i>Umidade</i> (%)	<i>Cinzas</i> 525°C (%)	<i>Cinzas</i> 900°C (%)
<i>Pinus</i>	12,8	21	6,88	3,41	3,07
<i>Eucalipto</i>	11,4	19,7	12,95	7,84	6,01

O poder calorífico superior (PCS) indica quando a combustão se efetua a volume constante, e a água formada na combustão é condensada. Quanto maior o poder calorífico maior a capacidade de queima da madeira. Segundo BRITO (1979), a maior capacidade

de queima em uma unidade de massa está presente na casca de Pinus e a menor na casca de eucalipto, sendo o Pinus com 5.456,85 Kcal/Kg e o Eucalipto com o poder calorífico de 4.090,99 Kcal/Kg como demonstrado na Figura 1 indicando então que a casca de Pinus é maior a que o poder calorífico da lenha, a qual tem seu poder calorífico 3.290 Kcal/Kg.

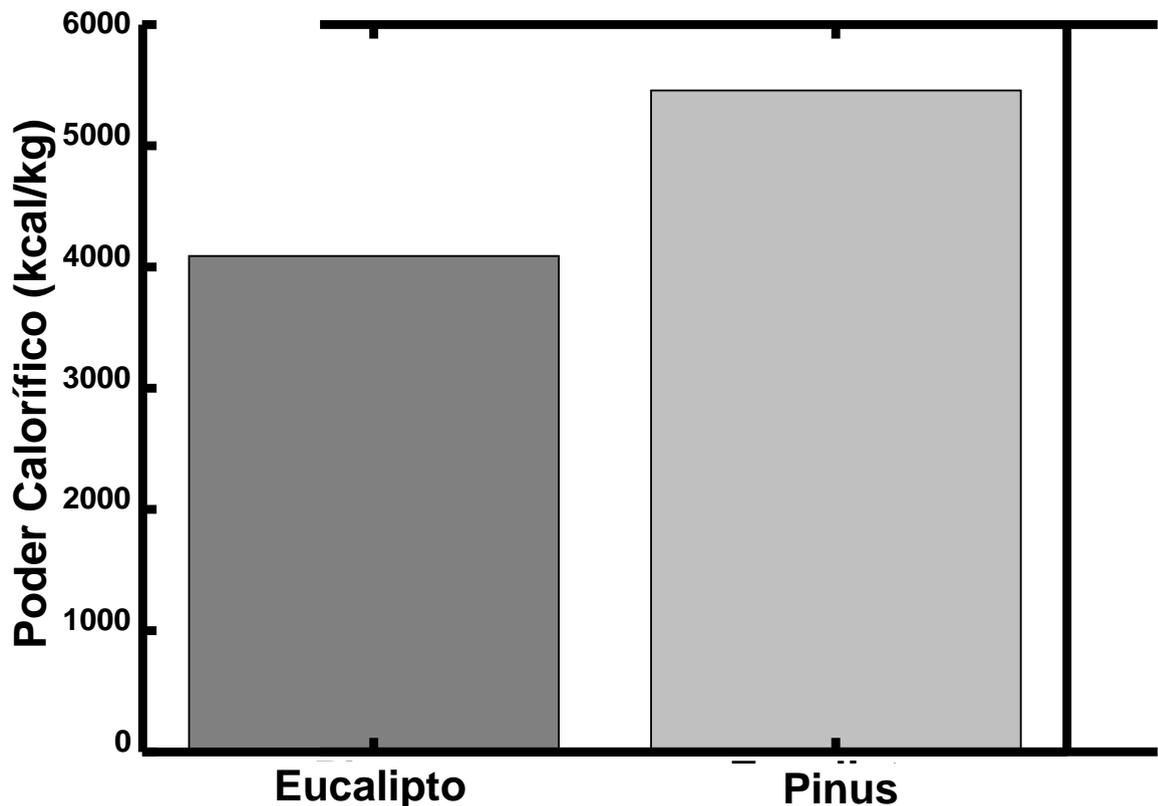


Figura 1: Poder calorífico dos briquetes produzidos a partir de cascas de pinus e eucalipto

4. CONCLUSÃO

De acordo com o referencial teórico estudado e os testes realizados, por suas características físicas e excelentes propriedades caloríficas, a casca de Pinus apresentou vantagens sobre a casca de Eucalipto, portanto o briquete da casca de Pinus constitui-se de uma excelente fonte de energia, pois podem substituir os combustíveis atualmente em uso com vantagens competitivas operacionais, logísticas, econômicas e ambientais.

5. AGRADECIMENTOS

A Deus por ter nos dado saúde e força para superar as dificuldades.

Ao professor orientador Marcelo Coelho dos Santos Muguet Soares que nos guiou para compor o presente trabalho.

Aos laboratoristas de Engenharia Química, Mayara, e Engenharia Civil, Cláudio, no auxílio para realização dos testes.

As empresas Senai e Siqueira, que disponibilizaram materiais para tornar esse trabalho possível.

E a todos que de forma direta ou indiretamente contribuíram para este trabalho.

REFERÊNCIAS

BARROS, Luana de Oliveira. **Densidade energética de briquetes produzidos a partir de resíduos agrícolas.** Luana de Oliveira Barros. - 2012. Disponível em: http://bdm.unb.br/bitstream/10483/4448/1/2012_LuanadeOliveiraBarros.pdf. Acesso em: 15 abr. 2018, 22:30.

BAUER, Jéssica Marielle. **Estímulos e barreiras para reaproveitamento de resíduos de madeira na fabricação de briquetes: estudo de caso/Jéssica MarielleBauer.** - 2015. Disponível em: <<http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/5147>>. Acesso em: 14 abr. 2018, 14:14.

BRITO, José Otávio. **Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal: I. Densidade e teor de lignina da madeira de eucalipto.** José Otávio Brito; Luiz Ernesto G. Barrichelo. - 1977. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr14/cap01.pdf>>. Acesso em: 14 abr. 2018, 12:30.

BRITO, José Otávio. **Usos diretos e propriedades da madeira para geração de energia.** José Otávio Brito; Luiz Ernesto G. Barrichelo. - 1979. Disponível em: <<http://ipef.br/publicacoes/ctecnica/nr052.pdf>>. Acesso em: 14 abr. 2018, 09:26.

FERNANDEZ, B. O. et al. **Características Mecânicas e Energéticas de Briquetes Produzidos a partir de Diferentes Tipos de Biomassa.-** 2017. Disponível em: <http://rvq.s bq.org.br/imagebank/pdf/v9n1a05.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2018, 22:48.

GONÇALVES, J.E. SARTONI, M.M.P LEÃO, A.L. **Energia de briquetes produzidos com rejeitos de resíduos sólidos urbanos e madeira de Eucalyptus grandis.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.13, n.5, p.657–661, 2009.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO.

Celulose e Papel: Tecnologia de Fabricação da Pasta Celulósica. São Paulo, 1988, 2º ed. Volume 1. Apoio Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial.

IWAKIRI, Setsuo et al. **Resíduos de serrarias na produção de painéis de madeira aglomerada de eucalipto.** Scientia Agraria, [S.l.], v. 1, n. 1, p. 23-28, dez. 2000. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/agraria/article/view/963/789>>. Acesso em: 20 mar. 2018.

JARA, E. R. P. **O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 1989. (Comunicação Técnica, 1797).

JIRUKKAKUL, P., Arjarn, W. **Elemental influence of Eucalyptus bark pellets on corrosion of tube in small boiler.** Oriental Journal of Chemistry, vol. 33, n. 6, 2017.

KLOCK, Umberto. **Química da Madeira.** 2ºed. Curitiba, 1998.

LIMA, Celiana Kátia Pereira. **Características anatômicas e química da madeira de clones de eucalyptus e sua influência na colagem.** Celiana Kátia Pereira Lima; Fábio Akira Mori; Lourival Marin Mendes; Angélica de Cássia Oliveira Carneiro. - 2006. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/html/744/74413201/>>. Acesso em: 14 abr. 2018, 13:43.

OSHIRO, Thaís Liemi. **Produção e caracterização de briquetes produzidos com resíduos lignocelulósicos.** - 2016. Disponível em:

http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/5480/1/LD_COEAM_2016_1_16.pdf. Acesso em: 29 mai. 2018, 23:45.

PANCIERI, B. M. **A produção de briquetes como incentivo à sustentabilidade - aplicabilidade da logística reversa em madeiras no município de Tomé-Açu.**-2009. Disponível em:http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2009_TN_STO_099_668_14158.pdf. Acesso em: 14. abr. 2018, 14:30.

PAUKKUNEN, S., SIKKANEN, L., IKONEN, R. **Ash content of wood pellets made from small Scots Pine (*Pinus sylvestris*) trees with bark.** Forest Products Journal, v. 65, n.7-8, p. 337 – 345, 2015.

PAULA, Luana Elis de Ramos. **Produção e avaliação de briquetes de resíduos lignocelulósicos.** - 2010. Disponível em: http://prpg.ufla.br/_ppg/ct-madeira/wp-content/uploads/2012/07/DissertacaoLUANA.pdf. Acesso em: 28. abr. 2018, 17:15.

PAULA, José Elias de. **897 Madeiras Nativas do Brasil: anatomia, dendrologia, dendrometria, produção, uso /** José Elias de Paula; José Luiz de Hamburgo Alves. - Porto Alegre, Cinco Continentes, 2007.

PAULA, Julio Cesar Marchiori de. **Aproveitamento de Resíduos de Madeira para Confecção de Briquetes.** Seropéia, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em:<<http://repositorio.im.ufrj.br:8080/jspui/handle/1235813/1293>>. Acesso em:14 abr. 2018, 11:30.

REIS, Bruno de Oliveira, et al. **Produção de briquetes energéticos a partir de caroços de açaí.** In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4., 2002, Campinas. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022002000200044&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 25 mar. 2018.

RELOVA, I., VIGNOTE, S., LEON, M.A., AMBROSIO, Y. **Optimisation of the manufacturing variable of sawdust pellets from the bark of *Pinus caribaea* Morelet: particle size, moisture and pressure.** Biomass and bioenergy, v. 33, n. 10, p. 1351 – 1357, 2009.

REVISTA DA MADEIRA. **Briquete: lenha ecológica.** Edição número 138, janeiro de 2014.

SILVA, Andressa Caroline Rodrigues da. **Aproveitamento de resíduos madeireiro para a produção de energia: caracterização química.** Andressa Carolina Rodrigues da Silva. - 2013. Disponível em:<<https://bdtd.ufam.edu.br/handle/tede/4288#preview-link0>>. Acesso em: 14 abr. 2018, 16:56.

SILVA, Claudinei Augusto. **Estudo técnico-econômico da compactação de resíduos madeireiros para fins energéticos.** 2007. 68p. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos), Comissão da Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, 2007.

SOARES, Marcelo Coelho dos Santos Muguet. **Irregularidades da madeira.** Acesso em: 20 de maio de 2018

TERA. Resíduos das indústrias de papel e celulose: qual é a destinação adequada?.09 de abr.2015. Disponível em: <<http://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/residuos-das-industrias-de-papel-e-celulose-qual-e-a-destinacao-adequada>>. Acesso em: 02 de abr. 2018.

CONTROLE EM DESTILAÇÃO BATELADA BASEADO EM REDES NEURAS ARTIFICIAIS

Leticia Rodrigues¹ Nayara Amany Dobzinski² e Vaniele Oliveira de Melo³



RESUMO

Independente do surgimento de destilação contínua, a destilação em batelada é de grande importância para a indústria química sendo uma das mais antigas nesse processo. O processo batelada é escolhido justamente pela flexibilidade oferecida em termos de manipulação das mais variadas e complexas misturas que surgem de um processo químico sejam como produto principal, subproduto ou resíduo industrial. Atualmente a otimização da automação de processos se tornaram essenciais na indústria, dessa forma fazer o controle de destilação batelada através de redes neurais artificiais é satisfatório para a crescente valorização da qualidade na indústria. O objetivo deste trabalho é desenvolver uma rede neural artificial através do software Multiple Back Propagation (MBP) para o controle de destilação batelada entre metanol e água, para isso as pesquisas foram realizadas de forma bibliográfica, buscando informações em livros e internet para que houvesse um bom resultado. Com os estudos levantados sobre o controle de destilação batelada através de redes neurais artificiais é notório o quanto esse assunto vem evoluindo nas indústrias, fazendo dessa maneira com que o processo seja otimizado e esteja em constante desenvolvimento. Entender a problemática que as empresas enfrentam e desenvolver um código com o auxílio de um software como o MPB é fundamental para o processo de aprendizagem de um acadêmico. Dessa maneira o software gerou bons resultados com os dados levantados para o controle da destilação batelada.

Palavras-chave: Destilação; Metanol; Rede neural.

ABSTRACT

Regardless of the emergence of continuous distillation, batch distillation is of great importance for the chemical industry being one of the oldest in this process. The batch process is chosen precisely because of the flexibility offered in terms of handling the most varied and complex mixtures that arise from a chemical process, whether as the main product, by-product or industrial waste. Currently the optimization of process automation has become essential in the industry, so control of batch distillation through artificial neural networks is satisfactory for the increasing appreciation of quality in the industry. The objective of this work is to develop an artificial neural network through the software Multiple Back Propagation (MBP) for the control of batch distillation between methanol and water, for this the researches were

¹ Técnica em Celulose e Papel e acadêmica de Engenharia Química <leticiaro19@hotmail.com>.

² Acadêmica de Engenharia Química <nayaraamany@hotmail.com>.

³ Técnica em Logística e acadêmica de Engenharia Química <vaniele17@gmail.com>.

carried out in bibliographical form, searching information in books and internet to have a satisfactory result. With the studies about the control of batch distillation through artificial neural networks, it is evident how much this subject has been evolved in the industries, in this way with which the process be optimized and in constant development. Understanding the problems that companies face and developing a code with the help of software such as MPB is fundamental to the learning process of an academic. In this way the software generated good results with the data collected for the control of batch distillation.

Key-words: Distillation; Methanol; Neural Network.

1. INTRODUÇÃO

Independente do surgimento de destilação contínua, a destilação em batelada é de grande importância para a indústria química sendo uma das mais antigas nesse processo. Além de ser utilizada na química e bioquímica de alta tecnologia, a destilação em batelada é utilizada na redução de volumes residuais e recuperação de materiais.

A destilação em batelada tem algumas vantagens sobre a destilação contínua, um benefício que pode ser citado é a maleabilidade no processo de misturas, enquanto a operação em batelada permite que "n" componentes sejam obtidos como produtos, para a separação contínua desta mesma mistura de "n" componentes seriam necessárias "n-1" colunas interconectadas.

Rede Neural Artificial (RNA) é utilizada para otimização das ações de controle baseada no comportamento do cérebro humano, sendo uma ferramenta computacional que resultou de pesquisas na área de Inteligência Artificial (IA). A interação entre neurônios no cérebro humano, na realidade, não é visível mas é identificada como comportamento inteligente. Com o propósito de desenvolver o mesmo tipo de estrutura para um modelo computacional de comportamento inteligente, neurologistas e pesquisadores de Inteligência Artificial propuseram uma rede altamente interconectada de "neurônios", ou nódulos. As informações de entrada são colocadas em uma rede de nódulos que interagem matematicamente entre si. Baseado nestas informações, surge um mapeamento do modelo entrada/saída macroscópico esperado, ou seja, as interações entre os nódulos são bem definidas e ajustadas até que as relações entrada/saída desejadas sejam apropriadamente obtidas.

O seguinte projeto consiste no estudo de técnicas de controle a serem utilizadas na destilação em batelada, com o objetivo de resolver a problemática envolvida nesse processo e aplicar o melhor método de sistema de controle através de Redes Neurais Artificiais.

2. METODOLOGIA

Este trabalho é uma pesquisa aplicada sobre a aplicação de redes neurais artificiais em controle de destilação batelada, a abordagem dos dados foi realizada de forma qualitativa, através de levantamento bibliográfico sobre tal aplicação. O objetivo deste trabalho é desenvolver uma rede neural artificial através do software Multiple Back Propagation (MBP) para o controle de destilação batelada entre metanol e água, para isso as pesquisas foram realizadas de forma bibliográfica, buscando informações em livros e internet para que houvesse um bom resultado.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1 Destilação Batelada

A destilação é uma operação que permite a separação de misturas de líquidos em seus componentes puros ou próximos da pureza, por meio de evaporação e condensação dos componentes em questão, sendo o principal agente o calor, pois o vapor formado tem composição diferente da mistura original, a diferença de composição das duas fases resulta da diferença de volatilidade dos vários componentes da mistura líquida inicial. O processo de destilação é muito utilizado na indústria química, em laboratórios, na produção de polímeros, nas indústrias alimentares e farmacêutica, na reciclagem de óleos e, também, na indústria dos biocombustíveis (Kister, H. Z. 1990).

A coluna de destilação em batelada pode ser modelada, levando-se em conta dois modos de operação básicos: com refluxo variável e composição do produto constante, ou refluxo constante e composição do produto variável. (DIWEKAR; MADHAVAN,1991).

O processo batelada é escolhido justamente pela flexibilidade oferecida em termos de manipulação das mais variadas e complexas misturas que surgem de um processo químico sejam como produto principal, subproduto ou resíduo industrial. Tendo esta característica de equipamento multiproduto, não se justifica um projeto otimizado do mesmo e a melhor solução para projeto, é de construção do equipamento em módulos agrupados de maneira específica para cada mistura, ficando longe de uma especificação otimizada, pois as colunas contínuas e em batelada operam em regimes diferentes.

Apesar de ter sido considerado ultrapassado pelo surgimento das colunas de destilação contínuas, o processo em batelada tem recebido atenção especial nos últimos anos em função do interesse crescente na área que se destina à produção de substâncias químicas ou bioquímicas de alta tecnologia e alto valor agregado.

Trazendo inúmeros trabalhos relacionados à simulação dinâmica e otimização de projeto e operação de colunas em batelada, ao contrário da destilação contínua, a literatura falha no estudo de projeto e implementação de sistemas de controle digitais essenciais para a manutenção da operação nas condições desejadas de otimização.

A destilação em batelada possui alguns pontos negativos: o processo é fortemente não-linear e não-estacionário, algumas características dificultam a escolha da melhor estratégia de implementação e operação do controle. Atualmente, grande parte das operações em batelada é realizada com base em experiências antigas, mas com a crescente valorização da qualidade na indústria, a otimização da automação de processos se tomaram essenciais, pois permite que algoritmos de controle cada vez mais complexos sejam implementados sem restrições de tempo de amostragem.

Com a adição de controladores, ocorreu uma superioridade da representação do processo devido a proximidade de Rede Neural Artificial causando a economia de energia e um maior controle de processo, a solução de problemas através de redes neurais é atrativa, pois criam a possibilidade de um desempenho superior a dos outros modelos convencionais.

3.2 Redes Neurais Artificiais (Rna)

A Rede Neural Artificial é um dispositivo computacional que resultou de estudos na área de inteligência artificial, que tentava entender o comportamento do cérebro humano, na qual abrange a comunicação entre os neurônios que é identificada como comportamento inteligente. Com o intuito de desenvolver o mesmo tipo de estrutura para um modelo computacional de comportamento inteligente, pesquisadores e neurologistas propuseram uma rede altamente interconectada de "neurônios", ou nódulos. Dados iniciais são inseridos em uma rede de nódulos que interagem sistematicamente entre si. Todas as Redes Neurais Artificiais devem ter uma camada de neurônios de entrada, uma de saída e, no mínimo, uma camada de neurônios escondida, essas camadas são primordiais para o êxito da rede Neural Artificial (FILETI, 1995).

Essencialmente a Rede Neural Artificial recebe as informações em sua entrada, processam esses dados através de interconexões entre os neurônios, e posteriormente a camada de saída envia os resultados obtidos para o receptor externo. Embora os resultados apareçam simbolicamente, o processamento dentro da rede neural é numérico através de algoritmos (FILETI, 1995).

3.3 Controle De Destilação Batelada De Metanol E Água Baseado Em Redes Neurais Artificiais

O controle em colunas de destilação é amplamente estudado. Este processo de separação permite desde a implementação de técnicas convencionais até a de algoritmos avançados, onde a questão mais importante é evitar desvios de operação, estabilizando o perfil da coluna.

No ramo da engenharia química, a área de controle de processos tem sido a mais procurada para as aplicações de Redes Neurais Artificiais (RNA's). De acordo com Luyben (1999) a escolha da estrutura de controle é muito mais importante que a escolha do algoritmo de controle, ou que a escolha do método de sintonia.

A maioria das indústrias químicas com coluna de destilação em batelada operam os equipamentos em regime transiente e outras que operam em regime estacionário essas sofrem perturbações ou têm condições de operação e irregularidades nos processos evidentes, as Redes Neurais Artificiais são ferramentas alternativas de grande importância na identificação e simulação deste tipo de processo.

O controle no topo da coluna de destilação irá fornecer somente energia necessária para que ocorra uma taxa de evaporação fixa, adicionando um controlador por alimentação direta, de potência, para o aquecimento na base da coluna, sendo analisado através de medições da composição do fundo ou diferencial de pressão ao longo da coluna de destilação, a partir do conhecimento físico do sistema, os parâmetros do controlador poderão ser determinados, em qualquer situação de operação, usando-se método adequado.

Independente da estratégia de controle, do tipo de algoritmo utilizado e do tipo de sintonia aplicado, o controle de colunas de destilação tem a função de manter a operação da coluna de acordo com a estratégia de produção adotada pelo operador.

Para o controle ser eficiente, é necessário estudar as propriedades dos componentes que serão destilados, nesse caso metanol e água.

3.4 Metanol

O metanol é um líquido incolor, solúvel em água, tóxico, pois ao ser ingerido ele pode causar cegueira, mesmo em pequenas doses, e até a morte, é um composto altamente inflamável e com chama quase imperceptível, com peso molecular igual a 32,0, sua fórmula molecular é CH₃OH e possui temperatura de ebulição de aproximadamente 65°C a pressão atmosférica padrão. O metanol pode ser corrosivo ao chumbo, alumínio, magnésio e platina, e não é compatível com metais reativos que desprendem do hidrogênio, alguns tipos de plásticos como o polietileno e borrachas.

Atualmente, o metanol é uma das matérias primas mais consumidas na indústria química, principalmente como solvente na indústria farmacêutica, na produção de biodiesel, em indústria de papel e celulose, entre outras.

Dessa forma a coluna que será avaliada para o controle de destilação será uma coluna feita de aço carbono com aquecimento à vapor.

A temperatura usada está em torno de 70°C devido a temperatura de ebulição de aproximadamente 65°C a pressão padrão e a temperatura crítica do metanol é aproximadamente 200°C, dessa forma a média entre as temperaturas é 132,5°C, como a temperatura de ebulição da água é 100°C considerou uma temperatura abaixo desse valor.

4. MULTIPLE BACK PROPAGATION (MBP)

O programa Multiple back propagation é uma aplicação de software para treinamento de redes neurais com algoritmos, é um software de fácil acesso, seu treinamento é rápido, fornece gráficos de saída desejados durante o treinamento de dados e também gera código C dos resultados obtidos.

O software trabalha com, no mínimo, 3 camadas de neurônios (neurônios armazenam os valores que serão calculados), sendo a primeira camada os dados de entrada, a segunda redes ocultas, e por último as camadas de saídas, podemos obter diversas entradas e diversas saídas. O desempenho do programa é mensurado por uma média quadrática dos erros encontrados no desenvolvimento de seus dados.

4.1 Código C

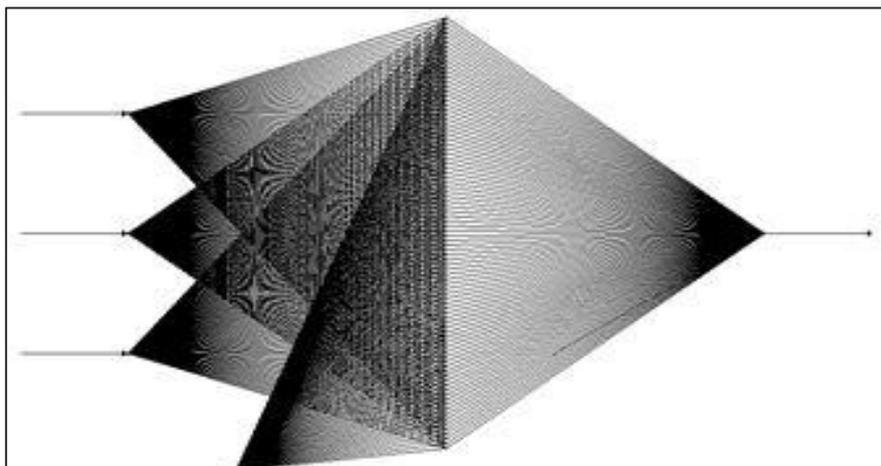
A linguagem de programação C é simples e compreensível e sua estrutura é adaptável a qualquer ambiente. Ela é considerada de nível intermediário portanto une características das linguagens de alto e baixo nível. Esse tipo de programação é tão poderosa que se adequa a qualquer tipo de sistema. Foi criada por Dennis Ritchie, em 1972, no centro de Pesquisas da Bell Laboratories, onde a sua primeira utilização importante foi do Sistema Operacional UNIX, em meados de 1970 saiu do laboratório para ser liberado em universidades. Foi o suficiente para que o sucesso da linguagem, se tornando compatíveis com vários outros sistemas operacionais.

Um programa desenvolvido em linguagem C consiste em uma ou várias “funções”, as funções de Entrada e Saída formatadas utilizam por padrão os chamados formadores do tipo variáveis, é através dele que as funções conseguem expressar seus respectivos valores. Quando falamos em saída de dados, dizemos como saída de informações pois, tudo aquilo que é inserido no computador, através de um INPUT, é dito dado e conseqüentemente tudo aquilo que sai, é dito informação.

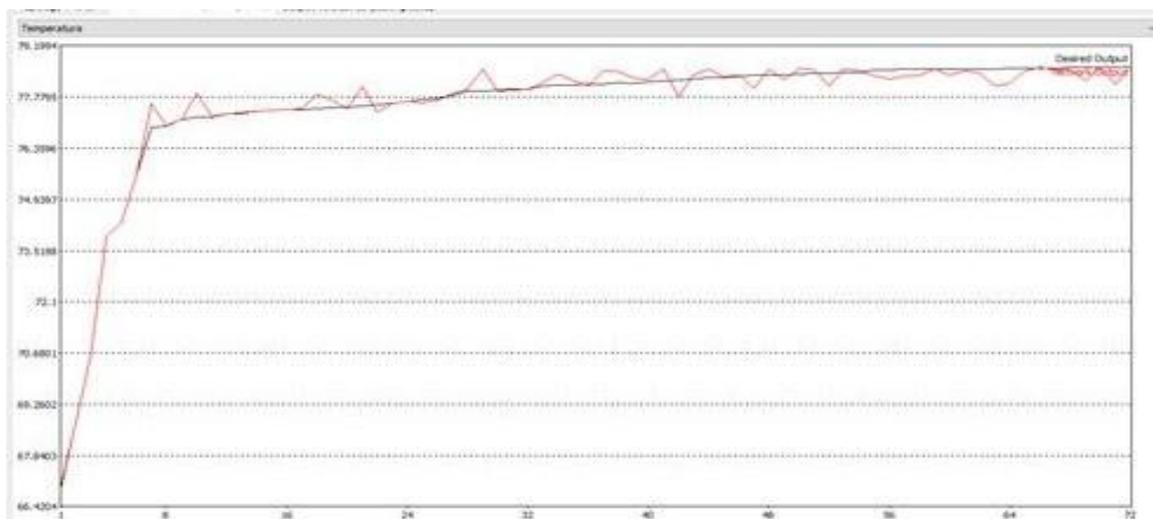
5. APLICAÇÃO DO MBP NO CONTROLE DE DESTILAÇÃO BATELADA ENTRE METANOL E ÁGUA

Para a aplicação do software Multiple Back Propagation, versão 2.2.5, foram utilizados setenta dados de pressão, nível e vazão para obtenção da temperatura essencial em uma destilação de metanol e água. Os resultados obtidos podem estar fora dos parâmetros pois os valores utilizados foram criados para o experimento, não são valores reais.

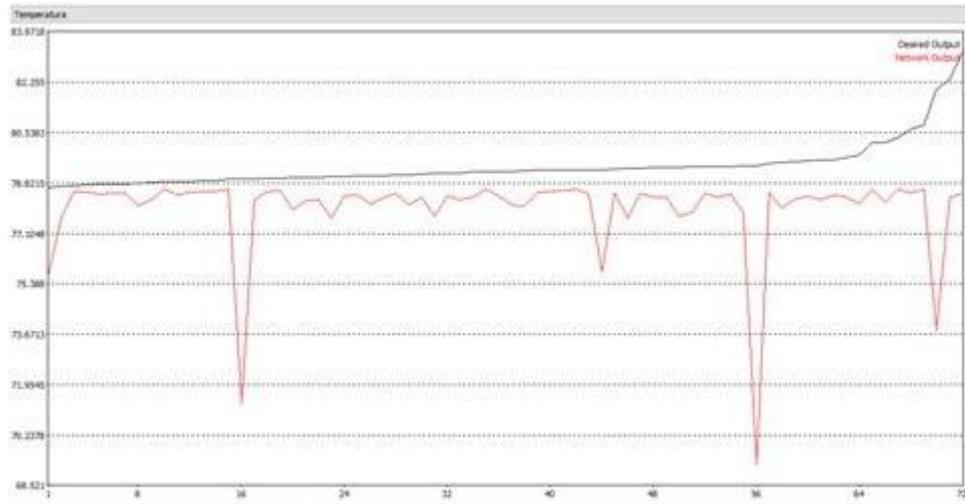
O gráfico a seguir nos mostra os neurônios utilizados na leitura dos dados, sendo três neurônios de entrada, noventa neurônios ocultos e um neurônio de saída:



O programa apresentou uma leitura dos dados de treino com erro igual a 0.0099, o gráfico a seguir mostra os resultados obtidos sendo a linha preta o desejado e a linha vermelha o que o programa conseguiu interpretar:



Já os dados de teste tiveram um erro de 0.0847, o gráfico a seguir mostra que o programa não conseguiu compreender os dados referidos a ele:



O resultado obtido gera um código C que mostra detalhadamente como ele processa as informações dadas a ele:

```
/**
Generated by Multiple Back-Propagation Version 2.2.5
Multiple Back-Propagation can be freely obtained at http://dit.ipg.pt/MBP
*/

#include <math.h>
/**
inputs - should be an array of 3 element(s), containing the network input(s).
outputs - should be an array of 1 element(s), that will contain the network output(s).
Note : The array inputs will also be changed. Its values will be rescaled between -1
and 1.
*/
void código C inter real(double * inputs, double * outputs) {
    double mainWeights[] = {-1.176879823885487, -0.161986079175287,
1.118360128952083, -2.065320820351113, -1.262954860814309,
1.211840038074944, -9.824145974606600, -6.144625564254813,
0.060289250410373, 0.655972872618806, 0.306244038451722, -
0.384947164053090, -2.355096316156365, -0.338023197307242,
0.311386583845244, 3.962924353792909, -0.926949939352966, -
0.265359047023186, -0.414155782983327, 0.656222418930184,
0.207103124693325, 2.351473157235973, 0.407686573033200, -
0.217329321562955, -0.484519132874055, 0.736215146349924,
0.094392182509785, -0.835709896676137, 0.776165075398639,
0.952082656532043, 0.354922999316487, 0.078719991547939,
0.021496082255648, -0.433845260048448, -0.102069494184270, -
0.251489158882290, 0.041162059351442, 0.531218123629740, -
0.652298542287740, 0.669387561968930, -1.719994729834993, -
1.487635383065759, -1.911302611488924, 0.677043220997371,
0.535130563655748, 0.016184661138660, 0.832732966962358, -
```

0.286868954038891, 0.165389430612345, 0.452209089612402,
0.535113699469899, 0.039511975229688, 1.120753989168513,
0.349908497594467, 1.059699873346488, -0.255776699078610, -
0.392640670928270, -0.996274256829552, -0.573081954237742,
0.618750698314603, 2.770573590583844, 6.907950204540879,
7.671681962271866, -1.708411845017703, -0.875338951075023, -
0.293859673846193, 0.179486054836928, -0.517873722406964,
0.166942127364054, 1.102141677657648, -0.247370512675245, -
0.092477555562174, 0.826158306436152, 0.919564462619495,
0.820149546758144, -0.216842942671337, -0.568607828981045, -
0.033814947296337, -0.781923037100437, 1.371939640551816,
0.496375975468678, 0.510765265240766, 0.435728460957378, -
0.845256439858309, -3.164347027323979, -2.055558013899529, -
3.689092176864156, 1.045088556329000, -3.777513268347393,
3.707453812308620, 1.667644676422152, -6.267076029552133, -
0.154691136673614, -0.561929276327313, 0.714131002860618, -
1.661442215414913, -0.462830111108471, 0.070078498706334,
0.371054669171446, -1.043013065163188, 0.164464981930177,
3.292144852920049, 0.236700411533747, -0.454285282952749,
0.663855398268786, 0.530598525447658, 1.135484629699677,
0.467498946115717, 4.101486583363018, -25.210581877282671, -
17.056518261011330, -11.945109219181475, -2.216429428573621, -
1.783258695172876, -2.482252174737775, 0.835915575556312, -
0.357687445464205, 0.844286319201582, -0.636438294923848, -
0.523691808863551, 0.451443948798059, -0.675736391988473, -
0.918699883120228, 0.234903003028725, -0.365493355878879,
0.231346443461077, -0.580259373061529, 1.481403193729915,
1.285032829938970, 1.208029200619513, 1.252118533796699, -
0.672702258114046, -0.956034960688587, -0.179621611242658, -
0.302952323485589, 0.911107239469703, -3.042059151960074, -
2.054653992442549, -3.565390424993794, 1.071617367921412,
0.057778017298716, -0.294411536615699, -1.305404568277488, -
0.657645033497153, -0.316905229657028, -1.447339152991027, -
0.015155849586745, -0.090118668033698, -0.044622493035868,
1.960815294658656, 0.677188782897052, -0.014821228451113,
0.556953485385789, 0.815271774809387, -0.275471909434904,
2.890907840875605, -0.043459444486486, 0.541111873400223,
0.197657847939610, 0.123363849513296, -0.412066910663943,
0.495023610161202, -0.954118101734036, -0.683959844635248, -
0.326040509246739, 0.358050287130058, 0.097330569714776,
0.351690468664843, 0.141789241702039, 0.085725523340973,
0.779308152260927, -0.948800089305583, -0.291212206340744, -
0.773186435067223, -0.903110160883472, 1.318843922735014,
0.275515496350094, 1.196922575600382, 0.000499056924983, -
0.303994895492554, 0.686779495006436, -0.805702123628467, -
6.272077451119432, 3.691409075409361, 0.143092878255115,
0.800094175762869, 0.663705472933100, -0.732014084144117,
0.259531702333787, 0.412104588541529, -1.150810481445962,
0.520977751324473, 0.389840044380991, -1.322973439778987, -
0.779727373280242, 0.719102968529884, -0.843787171109080,

0.817922105878579, -0.497453374539516, 1.222835246446087, -
0.479188944324075, -0.624047690344593, -0.283092185775589,
0.334883139170729, 0.008090260491309, 0.578458299697053, -
3.656398800817080, -0.366749353221962, 4.756204236848036,
25.981247808011354, -9.308720142518448, -1.138423916672094, -
0.601257952094521, 1.444989985894205, 1.581251432084481, -
0.802762819764920, -0.102742261068304, -0.215986176767391, -
0.558986369779377, 1.657920558965964, -0.978249220964407, -
0.393216522879798, -0.232926246601825, -0.310249796812507,
0.792647595569004, 0.682107721083169, 0.242496324541735,
0.180028305387467, 0.253359195969989, -1.752784162127721, -
0.380234552179510, 0.648814163018101, -0.051377330441369,
0.784530924272060, -0.115658350424450, 0.439664671305646, -
1.597403654894707, 0.751233183602576, 8.404884147163070,
11.866185862260924, 0.664357159934295, 0.751540333260358,
0.758344591035316, 0.050001609795649, 0.920861045871523, -
0.559692139169993, -0.513634821873023, -0.892295444114002, -
0.387677641080326, -0.845668296196633, 0.292658374193542,
0.757293782981529, 0.344075338813952, -0.256219094092355, -
1.327280362309113, -0.463802247436175, 0.044737615020316,
0.252641847043076, -0.521485611044386, 0.627885448569731,
0.076381816913059, -0.534835936327364, 0.779330845514592, -
1.399591258992711, -4.756743787423151, 7.678024216603469,
10.259704899046454, 1.559697636495031, 0.364925407729112,
1.128247713745091, 0.773334096845298, -0.711593591808768, -
2.849086700608377, -1.785483290694993, -3.215213198512182,
0.840694110588873, 0.386620887161352, 0.927118287666416,
0.695408876281551, -0.893191744954084, -0.010916260930090, -
0.169333294747873, -0.754494987438786, 0.850762163174307, -
0.893056707619131, -1.844830134866992, -0.047229380483651, -
0.192212205149681, -1.715799638845745, 6.744453109107154, -
7.192669306095007, -6.084047451377447, 1.098546972031186,
0.184978403750471, -0.055729904784626, 1.817522362693156, -
0.240302803205859, -0.431070232202161, -3.365735856899186, -
0.533073721528251, 0.830080384266231, -0.275329064746746,
0.038866552785592, 0.714573355359531, -1.266550384037952,
11.488146876681020, -3.232666686714231, -4.719969232277862,
0.680014802044642, -0.661233913561337, -0.209966108939324, -
0.582035430391224, 0.778447083284718, -0.400952320949522,
0.453559091855096, -0.895682533292156, 0.076177635320213, -
0.089410099989314, 15.956037556550728, 2.851184593663036, -
0.913307454219473, 0.006380199129405, -2.272898965868495, -
1.879318693112713, 2.045683358126554, 0.897504281041721,
0.133217903727629, -1.677191524260548, -0.585399341613585, -
0.887278247858574, -7.606554899092985, -0.751065118279997, -
0.444417247420855, 1.474783403552072, 0.344524923605292,
0.160162862453747, 0.795170755248715, 0.304591874987804, -
0.490738170938779, 1.719918040922998, -0.168003706775748, -
0.781527351709586, -0.643506274369028, 0.376012763905939,
0.885338831482722, -0.787847823006529, 0.095042020470067, -

```
0.618351601675082, 0.013817770393475, 1.025216532713549, -
0.272642474665715, 0.444717535642563, -0.140481665068731,
0.323767556909189, 0.111419202681155, -0.167120197442088, -
0.956044825493436, 0.824165831005692, 1.563832730211418, -
1.063625682377118, -0.854041349802120, 1.289559847315111,
6.776288604948551, 0.307554097708161, 3.317924596071865, -
0.491323747089553, 0.806572048056416, 0.378241220062135,
0.741066653641701, -0.258915816113756, -0.016204982975465, -
1.078910210276761, -0.017181073242445, -0.209302384817945,
0.443888341441228, -0.733607709296227, -3.157513489068066, -
0.191574033380365, 0.542350863265414, 0.139340753552586,
0.041603289667584, 0.585237872561791, -2.701861854105041,
4.540612870896975, 0.370243776595223, 0.146048819820204,
0.980894889645953, -0.333146848806546, -8.802641173740001, -
1.408388410004445, 0.116684073586445, 0.106748723359320,
0.047729233373473, 1.027885588399468, 0.264973451725400, -
2.445639280815655, 0.367224556426205, -0.301670172405856,
0.758438807889920, -0.802659521735010, 0.225377410903712,
0.539748465995086, -0.029649628252893, 0.629973697822337, -
0.239725978059160, 0.580171237398266, 4.899306778158417,
0.487023859877930, -0.400490089446345, -1.050241294767281,
0.527274530936107, -0.644629626038150, 1.391423452286324, -
10.314040014868617, 1.825871726134049, -0.468208960733613, -
0.225629603596151, 0.348252339206707, -0.835626492988456,
0.310212784748445, 8.712747682536868, 0.118879488046042, -
0.199718123447524, 0.097185748579348, 0.383150425135400, -
0.018812168431604, 0.365618831347670, -13.727040316379416,
0.911446500718211, -1.924461631608446, 0.916909923558644, -
0.174361529511618, -0.363788454689864, -6.172652816636269, -
0.765526055295938, 0.729529540338977, 0.022491501802987,
10.041312774010958, 0.099208732114701, 0.002013361688248,
8.433920275438457, 0.676078340925259, -0.851841998336741, -
0.435725541598967, 0.342822014690659, -0.365760895312381, -
0.475301644149336, -0.261710147327107, 0.050646907250126,
0.580004341445131, 1.631222426112911};
    double * mw = mainWeights;
    double hiddenLayer1outputs[90];
    int c;

    inputs[0] = -1.0 + (inputs[0] - 22.165890000000001) / 6.632354999999999;
    inputs[1] = -1.0 + (inputs[1] - 393.167300000000012) /
2812.683950000000095;
    inputs[2] = -1.0 + (inputs[2] - 0.982952152000000) / 0.079791493500000;
    hiddenLayer1outputs[0] = *mw++;
    for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1outputs[0] += *mw++ * inputs[c];
    hiddenLayer1outputs[0] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1outputs[0]));
    hiddenLayer1outputs[1] = *mw++;
    for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1outputs[1] += *mw++ * inputs[c];
    hiddenLayer1outputs[1] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1outputs[1]));
    hiddenLayer1outputs[2] = *mw++;
```

```
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1outputs[2] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1outputs[2] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1outputs[2]));
hiddenLayer1outputs[3] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1outputs[3] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1outputs[3] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1outputs[3]));
hiddenLayer1outputs[4] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1outputs[4] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1outputs[4] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1outputs[4]));
hiddenLayer1outputs[5] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1outputs[5] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1outputs[5] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1outputs[5]));
hiddenLayer1outputs[6] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1outputs[6] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1outputs[6] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1outputs[6]));
hiddenLayer1outputs[7] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1outputs[7] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1outputs[7] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1outputs[7]));
hiddenLayer1outputs[8] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1outputs[8] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1outputs[8] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1outputs[8]));
hiddenLayer1outputs[9] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1outputs[9] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1outputs[9] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1outputs[9]));
hiddenLayer1outputs[10] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1outputs[10] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1outputs[10] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1outputs[10]));
hiddenLayer1outputs[11] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1outputs[11] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1outputs[11] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1outputs[11]));
hiddenLayer1outputs[12] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1outputs[12] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1outputs[12] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1outputs[12]));
hiddenLayer1outputs[13] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1outputs[13] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1outputs[13] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1outputs[13]));
hiddenLayer1outputs[14] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1outputs[14] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1outputs[14] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1outputs[14]));
hiddenLayer1outputs[15] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1outputs[15] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1outputs[15] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1outputs[15]));
hiddenLayer1outputs[16] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1outputs[16] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1outputs[16] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1outputs[16]));
hiddenLayer1outputs[17] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1outputs[17] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1outputs[17] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1outputs[17]));
hiddenLayer1outputs[18] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1outputs[18] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1outputs[18] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1outputs[18]));
```

```
hiddenLayer1 outputs[19] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[19] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[19] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[19]));
hiddenLayer1 outputs[20] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[20] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[20] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[20]));
hiddenLayer1 outputs[21] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[21] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[21] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[21]));
hiddenLayer1 outputs[22] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[22] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[22] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[22]));
hiddenLayer1 outputs[23] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[23] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[23] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[23]));
hiddenLayer1 outputs[24] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[24] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[24] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[24]));
hiddenLayer1 outputs[25] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[25] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[25] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[25]));
hiddenLayer1 outputs[26] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[26] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[26] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[26]));
hiddenLayer1 outputs[27] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[27] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[27] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[27]));
hiddenLayer1 outputs[28] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[28] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[28] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[28]));
hiddenLayer1 outputs[29] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[29] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[29] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[29]));
hiddenLayer1 outputs[30] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[30] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[30] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[30]));
hiddenLayer1 outputs[31] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[31] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[31] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[31]));
hiddenLayer1 outputs[32] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[32] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[32] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[32]));
hiddenLayer1 outputs[33] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[33] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[33] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[33]));
hiddenLayer1 outputs[34] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[34] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[34] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[34]));
hiddenLayer1 outputs[35] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[35] += *mw++ * inputs[c];
```

```
hiddenLayer1 outputs[35] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[35]));
hiddenLayer1 outputs[36] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[36] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[36] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[36]));
hiddenLayer1 outputs[37] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[37] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[37] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[37]));
hiddenLayer1 outputs[38] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[38] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[38] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[38]));
hiddenLayer1 outputs[39] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[39] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[39] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[39]));
hiddenLayer1 outputs[40] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[40] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[40] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[40]));
hiddenLayer1 outputs[41] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[41] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[41] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[41]));
hiddenLayer1 outputs[42] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[42] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[42] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[42]));
hiddenLayer1 outputs[43] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[43] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[43] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[43]));
hiddenLayer1 outputs[44] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[44] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[44] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[44]));
hiddenLayer1 outputs[45] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[45] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[45] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[45]));
hiddenLayer1 outputs[46] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[46] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[46] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[46]));
hiddenLayer1 outputs[47] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[47] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[47] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[47]));
hiddenLayer1 outputs[48] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[48] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[48] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[48]));
hiddenLayer1 outputs[49] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[49] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[49] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[49]));
hiddenLayer1 outputs[50] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[50] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[50] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[50]));
hiddenLayer1 outputs[51] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[51] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[51] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[51]));
hiddenLayer1 outputs[52] = *mw++;
```

```
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1outputs[52] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1outputs[52] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1outputs[52]));
hiddenLayer1outputs[53] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1outputs[53] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1outputs[53] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1outputs[53]));
hiddenLayer1outputs[54] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1outputs[54] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1outputs[54] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1outputs[54]));
hiddenLayer1outputs[55] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1outputs[55] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1outputs[55] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1outputs[55]));
hiddenLayer1outputs[56] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1outputs[56] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1outputs[56] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1outputs[56]));
hiddenLayer1outputs[57] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1outputs[57] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1outputs[57] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1outputs[57]));
hiddenLayer1outputs[58] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1outputs[58] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1outputs[58] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1outputs[58]));
hiddenLayer1outputs[59] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1outputs[59] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1outputs[59] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1outputs[59]));
hiddenLayer1outputs[60] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1outputs[60] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1outputs[60] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1outputs[60]));
hiddenLayer1outputs[61] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1outputs[61] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1outputs[61] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1outputs[61]));
hiddenLayer1outputs[62] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1outputs[62] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1outputs[62] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1outputs[62]));
hiddenLayer1outputs[63] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1outputs[63] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1outputs[63] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1outputs[63]));
hiddenLayer1outputs[64] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1outputs[64] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1outputs[64] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1outputs[64]));
hiddenLayer1outputs[65] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1outputs[65] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1outputs[65] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1outputs[65]));
hiddenLayer1outputs[66] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1outputs[66] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1outputs[66] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1outputs[66]));
hiddenLayer1outputs[67] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1outputs[67] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1outputs[67] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1outputs[67]));
hiddenLayer1outputs[68] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1outputs[68] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1outputs[68] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1outputs[68]));
```

```
hiddenLayer1 outputs[69] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[69] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[69] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[69]));
hiddenLayer1 outputs[70] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[70] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[70] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[70]));
hiddenLayer1 outputs[71] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[71] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[71] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[71]));
hiddenLayer1 outputs[72] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[72] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[72] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[72]));
hiddenLayer1 outputs[73] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[73] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[73] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[73]));
hiddenLayer1 outputs[74] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[74] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[74] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[74]));
hiddenLayer1 outputs[75] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[75] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[75] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[75]));
hiddenLayer1 outputs[76] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[76] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[76] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[76]));
hiddenLayer1 outputs[77] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[77] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[77] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[77]));
hiddenLayer1 outputs[78] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[78] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[78] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[78]));
hiddenLayer1 outputs[79] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[79] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[79] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[79]));
hiddenLayer1 outputs[80] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[80] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[80] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[80]));
hiddenLayer1 outputs[81] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[81] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[81] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[81]));
hiddenLayer1 outputs[82] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[82] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[82] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[82]));
hiddenLayer1 outputs[83] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[83] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[83] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[83]));
hiddenLayer1 outputs[84] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[84] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[84] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[84]));
hiddenLayer1 outputs[85] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[85] += *mw++ * inputs[c];
```

```
hiddenLayer1 outputs[85] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[85]));
hiddenLayer1 outputs[86] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[86] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[86] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[86]));
hiddenLayer1 outputs[87] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[87] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[87] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[87]));
hiddenLayer1 outputs[88] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[88] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[88] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[88]));
hiddenLayer1 outputs[89] = *mw++;
for(c = 0; c < 3; c++) hiddenLayer1 outputs[89] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1 outputs[89] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1 outputs[89]));
outputs[0] = *mw++;
for(c = 0; c < 90; c++) outputs[0] += *mw++ * hiddenLayer1 outputs[c];
outputs[0] = 1.0 / (1.0 + exp(-outputs[0]));
outputs[0] = 67.001289999999997 + (outputs[0] - 0.000000) *
11.6172300000000006;
}
```

6. CONCLUSÃO

Com os estudos levantados sobre o controle de destilação batelada através de redes neurais artificiais é notório o quanto esse assunto vem evoluindo nas indústrias, fazendo dessa maneira com que o processo seja otimizado e estejam em constante desenvolvimento. Entender a problemática que as empresas enfrentam e desenvolver um código com o auxílio de um software como o MPB é fundamental para o processo de aprendizagem de um acadêmico. Dessa maneira o software gerou bons resultados com os dados levantados para o controle da destilação batelada.

REFERÊNCIAS

BOENTE, Alfredo. **Aprendendo a programar em linguagem C do básico ao avançado**. Disponível em: <http://www.boente.eti.br/aulas/e-booklingc.pdf>. Acesso em: 09 set. 2018

COPENOR - Companhia Petroquímica do Nordeste. **Metanol - instruções técnicas**. Disponível em: <http://www.copenor.com.br/compos.php?m=site.pagina&pag=168&idioma=br>. Acesso em: 31 ago. 2018.

FILETI, Ana Maria Frattini. **Controle em destilação batelada: controle adaptativo e controle preditivo com modelo baseado em redes neurais artificiais**. Ana Maria Frattini Fileti. - Campinas - 1995.

FILHO, Renato Dutra Pereira. **Desenvolvimento e implementação de controladores nebulosos em uma coluna piloto de destilação em batelada**. Renato Dutra Pereira Filho.-Campinas, SP: [s.n.], 1999. Disponível em:

<<http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/267231>>. Acesso em: 15 abr. 2018.

KETZER, Felipe. **Modelagem, simulação e controle de uma coluna de destilação descontínua apropriada à produção de etanol em pequena escala.** UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. Santa Maria, Rs, 2013. Disponível em: <<http://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/7963/KETZER%2C%20FELIPE.pdf?sequencia=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 15 de abr de 2018.

KISTER, H. Z. **Operação de destilação.** Henry Z. Kister - New York - 1990. Disponível em: <http://labvirtual.eq.uc.pt/siteJoomla/index.php?option=com_content&task=view&id=223&Itemid=413> Acesso em: 15 abr. 2018.

FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DO PRODUTO QUÍMICO - FISPQ. METANOL. 2822-P. Rev 16, 2011. Disponível em: <<http://www.hcrp.fmrp.usp.br/sitehc/fispq/metanol.pdf>>. Acesso em: 07 de set de 2018.

PEDROSA, Luciano da Silva. **Controle adaptativo de uma coluna piloto de destilação em batelada com diferenciação de composição através de redes neurais artificiais.** Luciano da Silva Pedrosa - Campinas - 1998. Disponível em: <<http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/266403>>. Acesso em: 15 abr. 2018.

RODRIGUES, Rodolfo. DESTILAÇÃO BINÁRIA EM BATELADA. Universidade Federal do Pampa. 30 de Agosto de 2016. Disponível em: <http://rodolfo.chengineer.com/data/uploads/ba310_aula04_20160830.pdf>. Acesso em: 15 de abr de 2018.

TEÓFILO, Lucas da Costa. **Modelagem e simulação de coluna de destilação em batelada.** Lucas da Costa Teófilo; Ana Maria Frattini Fileti. - Campinas - 2012. Disponível em: <<https://www.prp.unicamp.br/pibic/congressos/xxcongresso/resumos/092015.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2018.

ZANATA, Diogo Rafael Prado. **Desenvolvimento de sensor virtual empregando redes neurais para medição da composição em uma coluna de destilação.** Diogo Rafael Prado Zanata - São Paulo - 2005. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3139/tde-21022006163655/en.php>>. Acesso em: 15 abr. 2018.

DEGRADAÇÃO DE EFLUENTE DE DESCARTE DE LABORATÓRIO UTILIZANDO RADIAÇÃO SOLAR E CATALISADORES SUPPORTADOS



Veronice Slusarski-Santana¹, Leila Denise Fiorentin-Ferrari², Camila Pereira Giroto³

RESUMO

Processos Oxidativos Avançados (POAs) são tecnologias que podem ser empregadas para realizar o tratamento dos mais variados tipos de efluentes, sendo a fotólise e a fotocatalise as mais utilizadas. Ambas as técnicas se baseiam na geração de radicais hidroxila, que são produzidos após a ativação do catalisador com radiação adequada no caso da fotocatalise, ou excitação eletrônica das moléculas orgânicas para a fotólise. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar a descoloração de um efluente proveniente de descarte de laboratório contendo corantes (C.I. Reactive Blue 198 e C.I. Reactive Blue 250) pelos processos de fotólise e fotocatalise sob radiação solar. Na fotocatalise, utilizaram-se os catalisadores 0,1% Fe₂O₃-5% ZnO/A e 0,1% Nb₂O₅-5% ZnO/A, previamente caracterizados por fisissorção de N₂, TXRF e FTIR. Nos experimentos, 500 mL de efluente sem (fotólise) ou com 1, 2 ou 3 g L⁻¹ (fotocatalise) de catalisador foram expostos ao sol entre 10 e 15 h. Amostras foram coletadas em diferentes tempos e analisadas por espectrofotometria UV-Vis. A fotocatalise, independente do catalisador, apresentou maior percentual de degradação que a fotólise, pois a presença de catalisador acelerou a velocidade da reação. Além disso, o catalisador 0,1% Nb₂O₅-5% ZnO/A foi melhor ativado pela radiação solar do que o 0,1%Fe₂O₃-5%ZnO/A, devido às suas características físicas e químicas. Este catalisador na concentração de 2 g L⁻¹ promoveu 53% de degradação do efluente. Portanto, o catalisador que contém a combinação de Nb₂O₅ e ZnO torna-se um alternativa favorável para a fotocatalise sob radiação solar.

Palavras-chave: Fotólise; Foto catalise; Nb₂O₅; Fe₂O₃.

ABSTRACT

Advanced Oxidative Processes (AOPs) are technologies that can be used to treat most types of effluents, with photolysis and photocatalysis being the most used. Both techniques are based on the generation of hydroxyl radicals, which are produced after activation of the catalyst with adequate radiation in the case of photocatalysis, or electronic excitation of organic molecules for photolysis. The aim of this work was to evaluate the discoloration of a laboratory waste effluent containing

¹Mestre e doutora em Engenharia Química e professora do Centro de Engenharias e Ciências Exatas da UNIOESTE-Campus Toledo – e-mail: <veronice_equnioeste@hotmail.com>.

²Mestre e doutora em Engenharia Química e professora do Centro de Engenharias e Ciências Exatas da UNIOESTE-Campus Toledo – e-mail: <leiladeniseff@gmail.com>.

³Mestranda em Engenharia Química na UNIOESTE-Campus Toledo – e-mail: <camilagiroto@outlook.com.br>.

dyes (C.I. Reactive Blue 198 and C.I. Reactive Blue 250) by the processes of photolysis and photocatalysis under solar radiation. In the photocatalysis, 0.1% Fe₂O₃-5% ZnO/A and 0.1% Nb₂O₅-5% ZnO/A catalysts were used, previously characterized by N₂ fisition, TXRF and FTIR. In the experiments, 500 mL of effluent without (photolysis) or with 1, 2 or 3 g L⁻¹ (photocatalysis) of catalyst were exposed to the sun between 10 and 15 h. Samples were collected at different times and analyzed by UV-Vis spectrophotometry. Photocatalysis, independent of the catalyst, presented a higher percentage of degradation than photolysis, as the presence of catalyst accelerated the reaction rate. In addition, the catalyst 0.1% Nb₂O₅-5% ZnO/A was better activated by solar radiation than 0.1% Fe₂O₃-5% ZnO/A, due to its physical and chemical characteristics. This catalyst at the concentration of 2 g L⁻¹ promoted 53% degradation of the effluent. Therefore, the catalyst containing the combination of Nb₂O₅ and ZnO becomes a favorable alternative for photocatalysis under solar radiation.

Key-words: Photolysis; Photocatalysis; Nb₂O₅; Fe₂O₃.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a inserção de contaminantes no meio ambiente têm aumentado devido à ação do homem, sendo necessário assim um gerenciamento adequado destes a fim de minimizar os impactos ambientais causados pelo descarte inapropriado de resíduos sólidos e líquidos. Neste sentido, os recursos hídricos e o solo, que são elementos fundamentais para a existência dos seres vivos, são os mais atingidos quando se trata de contaminantes líquidos (IGNACHEWSKI et al., 2010; MOURYA et al., 2011). Dentre estes contaminantes líquidos, podem ser citados os efluentes que contém corantes, que são gerados principalmente em indústrias têxteis, no entanto podem também ser originados em laboratórios de pesquisa que utilizam corantes como molécula modelo em experimentos de avaliação de atividade de fotocatalisadores. Os efluentes das indústrias têxteis possuem uma grande carga poluidora contendo principalmente corantes, que não foram absorvidos no processo de tingimento dos tecidos (LIMA et al., 2014). Já os efluentes gerados nos laboratórios de pesquisa são formados, na sua maioria, a partir de descarte de soluções sintéticas de corantes, de forma que a carga orgânica é baixa (HARIKUMAR et al., 2013; RIBEIRO et al., 2012). O descarte inadequado destes contaminantes pode causar o desequilíbrio ambiental, devido à sua toxicidade, alta solubilidade em água e baixa taxa de degradação, por isso é importante buscar novas tecnologias para realizar o tratamento desses resíduos líquidos (AYODHYA e VEERABHADRAM, 2018).

Com a finalidade de amenizar os problemas causados no ambiente pelos contaminantes aquosos, vêm se destacando nos últimos anos, estudos relacionados ao emprego dos Processos Oxidativos Avançados (POAs) (PERISC et al., 2016; BYRNA et al., 2018). Nos POAs, ocorre a formação de radicais hidroxila (•OH), espécies altamente oxidantes, em quantidades suficientes para provocar a mineralização da matéria orgânica em dióxido de carbono, água e ácidos inorgânicos, e com isso, realizar a degradação de diferentes tipos de poluentes. Além disso, outras espécies reativas diferentes dos radicais hidroxila também podem ser formadas como: eaq⁻, O₂⁻ e HO₂⁻ (FATTA-KASSINOS et al., 2011).

Os POAs são divididos em duas classes baseadas nas fases presentes no sistema, os sistemas homogêneos e os sistemas heterogêneos, com ou sem a presença de irradiação. A grande diferença entre esses dois tipos é que os sistemas heterogêneos possuem um catalisador no estado sólido, o qual acelera o processo de degradação dos contaminantes, enquanto nos sistemas homogêneos há apenas uma fase (FIOREZE, 2014). Estes processos oxidativos possuem vantagens em relação aos tratamentos convencionais, tais como capacidade de destruir o poluente e não apenas mudá-lo de fase; podem ser associados a outro tratamento; elevado poder oxidante com cinética de reação elevada, não necessitam de pós-tratamento, pois mineralizam o contaminante, e possuem custo relativamente baixo. Por outro lado, dependendo do tipo de POA empregado, pode-se ter a desvantagem em relação ao custo de certos reagentes e de energia elétrica, no caso do uso de radiação artificial, o que pode tornar inviável a sua aplicação (SHAO et al., 2011; BILINSKA et al., 2017).

Dentre os sistemas homogêneos tem-se a fotólise, que emprega a radiação artificial ou natural como única fonte de energia, produzindo fótons, os quais podem ser absorvidos pelas moléculas de contaminantes (orgânicas) e formar compostos eletronicamente excitados, que são capazes de transferir elétrons e gerar os radicais livres (FONTANA et al., 2017). Ao comparar a fotólise com outros processos oxidativos avançados, sua eficiência é sempre menor, pois a geração de $\bullet\text{OH}$ é menor e conseqüentemente, a velocidade da reação é baixa (CHEN et al., 2010).

Na classe dos sistemas heterogêneos, tem-se a fotocatalise que se baseia na ativação de um catalisador/semicondutor em sua forma sólida, utilizando radiação natural ou artificial. Um semicondutor possui uma descontinuidade entre a banda de valência (BV) e a banda de condução (BC), denominada band gap, e sua ativação ocorre ao absorver energia superior à energia da band gap, o que promove a geração de pares de elétrons/lacunas (e^-/h^+), os quais irão reagir com a molécula de água ou oxigênio adsorvida e formar os radicais hidroxila ($\bullet\text{OH}$) (TIBURTIUS e PERALTA-ZAMORA, 2004). A produção dos radicais hidroxila pode ocorrer em ambas as bandas, dependendo do tipo de mecanismo, o que faz com que ocorra a oxidação dos poluentes orgânicos. A fotocatalise possui algumas vantagens em relação aos outros POAs: possibilidade de reutilização do catalisador, baixo custo quando se utiliza radiação solar e a capacidade de mineralizar os compostos orgânicos sem a adição de oxidantes químicos (JAFARI et al., 2012).

Um semicondutor para ser utilizado como fotocatalisador deve ser quimicamente inerte, possuir sensibilidade e estabilidade fotocatalítica na condição aplicada, facilmente sintetizado, fácil de usar e de natureza não tóxica. Existem diversos tipos de catalisadores que podem ser utilizados no processo de fotocatalise heterogênea, tais como TiO_2 , ZnO , ZnS , CuO , Nb_2O_5 e Fe_2O_3 (LI et al., 2008). Dentre estes catalisadores, o TiO_2 é o que tem apresentado melhores resultados fotocatalíticos, devido às suas características físicas e químicas, tais como elevada área superficial, fotoestabilidade, fotossensibilidade e baixa toxicidade. Contudo, outros catalisadores como o pentóxido de nióbio (Nb_2O_5) e o óxido de ferro (III) têm se mostrado também eficientes na fotocatalise. O Nb_2O_5 apresenta características semelhantes às do TiO_2 , como por exemplo a energia de band gap, o que indica que o Nb_2O_5 também pode trazer bons resultados para o processo de fotocatalise (LOPES et al., 2015). O óxido de ferro (III) também tem sido empregado em estudo de fotocatalise, devido a um baixo

valor de band gap, possibilitando o uso da luz solar no processo fotocatalítico, pois este semiconductor pode absorver energia em comprimentos de onda menores se comparado ao TiO₂ para formar os pares e⁻/h⁺ (OLIVEIRA et al., 2013).

Os catalisadores podem ser utilizados dispersos em solução ou impregnados em um suporte inerte, esta última maneira faz com que possuam maior utilidade na indústria. Nos catalisadores suportados, a fase ativa é dispersa em um suporte com elevada resistência mecânica, porosidade e capacidade adsorvente (KIM e KAN, 2016). Há muitas vantagens em se utilizar os catalisadores suportados, sendo elas, aumento da área superficial do catalisador e da dispersão do agente ativo, maior estabilidade da fase ativa na reação, aumento da vida útil do catalisador fazendo com que ele possa ser reutilizado. Dentre os suportes mais utilizados, tem-se a zeólita e a sílica (YUNXIA et al., 2015).

Na literatura encontram-se várias pesquisas envolvendo POAs em tratamento de diversos tipos de efluentes reais e também contendo soluções sintéticas. Carrillo et al. (2018) sintetizaram nanopartículas de ZnO utilizando o método de hidrólise forçada. Os materiais foram caracterizados por difração de raio X (DRX), microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR). Eles utilizaram os semicondutores para realizar a degradação do corante azul de metileno sob radiação UV e obtiveram 99,3% de degradação em 80 min de tratamento. Souza et al. (2016) empregaram os catalisadores TiO₂ P25, TiO₂, ZnO e Nb₂O₅ no tratamento de efluentes têxteis geados em lavanderia sob radiação UV artificial. Como melhor resultado, obtiveram 95,91% de degradação para o TiO₂ P25 a uma concentração de 2 g L⁻¹ em 300 min de irradiação. Gonçalves et al. (2017) avaliaram o potencial fotocatalítico do Nb₂O₅ sem e com tratamento térmico na degradação de corante azul de metileno e obtiveram que o Nb₂O₅ com tratamento térmico apresentou maior atividade fotocatalítica (99% de degradação) que o sem tratamento (87%). Atla et al. (2016) prepararam e caracterizaram três tipos de catalisadores a base de magnetita e ZnO: Fe₃O₄/ZnO (M1), Fe₃O₄/SiO₂/ZnO (M2), Fe₃O₄/SiO₂-APTS/ZnO (M3). Esses materiais foram utilizados na degradação do corante azul de metileno sob radiação solar e os autores obtiveram que M2 e M3 apresentaram maior atividade fotocatalítica do que o M1, devido à presença da SiO₂.

Com base no que há na literatura sobre as formas de tratamento de efluentes utilizando processos oxidativos avançados (fotocatálise e fotólise), radiação luminosa artificial e solar, catalisadores mássicos compostos por uma única fase ativa e catalisadores suportados, percebe-se a necessidade de se desenvolver catalisadores suportados compostos pela combinação de óxidos que possam ser ativados por radiação solar e apresentem elevada atividade fotocatalítica. Além disso, a utilização da radiação solar favorece o conceito de química verde, pois emprega o uso de energias renováveis que deve ser cada vez mais intensificado. Desta forma, o presente estudo teve como objetivo analisar a descoloração de um efluente proveniente de descarte de laboratório de pesquisa contendo corantes (C.I. Reactive Blue 198 e C.I. Reactive Blue 250), empregando os processos de fotólise e fotocatalise sob radiação solar. Como fotocatalisadores foram utilizados catalisadores compostos pela combinação de ZnO e Nb₂O₅ ou Fe₂O₃ suportados em zeólita A (0,1% Fe₂O₃-5% ZnO/A e 0,1% Nb₂O₅-5% ZnO/A).

2. METODOLOGIA

2.1. Preparação e Caracterização dos Catalisadores

Os catalisadores utilizados nesta pesquisa foram previamente preparados pelo método de impregnação úmida conforme a metodologia descrita em Slusarski-Santana et al. (2016) a partir da combinação de 5% de ZnO e 0,1% Nb₂O₅ ou Fe₂O₃ (% mássicas), os quais foram suportados em zeólita A, obtendo-se assim, os fotocatalisadores 0,1% Fe₂O₃-5% ZnO/A e 0,1% Nb₂O₅-5% ZnO/A.

Esses fotocatalisadores foram caracterizados por análise textural a partir de fisissorção de N₂, espectroscopia de absorção ao Infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) e fluorescência de raios X com reflexão total (TXRF), conforme apresentado em Slusarski-Santana et al. (2016).

2.2. Efluente

O efluente avaliado nesta pesquisa foi gerado a partir do descarte de resíduos oriundos de pesquisas, especialmente sobre fotólise e fotocátalise, do Laboratório de Controle de Poluição (LCP) da UNIOESTE, campus de Toledo. O efluente era composto por misturas de soluções sintéticas dos corantes C.I. Reactive Blue 198 (625 nm) e C.I. Reactive Blue 250 (616 nm) em diferentes concentrações.

2.3. Testes Fotocatalíticos

Os testes fotocatalíticos foram realizados em reatores de vidro de 24 cm de diâmetro, os quais foram expostos à radiação solar em dias de céu claro (sem nuvens) no período das 10 às 15 h, no mês de abril de 2016. Como a intensidade luminosa do sol varia a cada dia, foram realizados, ao mesmo tempo, os 7 experimentos em condições diferentes para padronizar a quantidade de radiação fornecida aos catalisadores.

Nos ensaios de fotocátalise, foram adicionados ao reator 500 mL do efluente juntamente com o catalisador 0,1% Fe₂O₃-5% ZnO/A (ou do 0,1% Nb₂O₅-5% ZnO/A) nas concentrações de 1, 2 ou 3 g L⁻¹. Coletaram-se alíquotas em tempos pré-determinados, as quais foram centrifugadas a 3000 rpm por 3 min (SPINLAB SL-5M) e analisadas por espectrofotometria UV-Vis (SHIMADZU Modelo UV-1800) entre 200 e 800 nm. A cada coleta, monitorou-se a temperatura do efluente e determinou-se o pH das amostras inicial e final de cada ensaio. Para avaliar a degradação do efluente apenas pela ação da radiação solar (fotólise), colocou-se no reator 500 mL de efluente sem a presença de catalisador, e seguiu-se a mesma metodologia da fotocátalise.

Para avaliar o percentual de descoloração do efluente, inicialmente foi obtido o espectro de absorção UV-Vis do efluente entre 200 e 800 nm (SHIMADZU Modelo UV-1800) e determinado o comprimento de onda de máxima absorção do efluente. Em seguida, determinou-se o percentual de descoloração do efluente neste comprimento de onda, conforme a Equação 1:

$$\text{Desc}(\%) = \left(\frac{\text{Abs}_{\text{inicial}} - \text{Abs}_{\text{final}}}{\text{Abs}_{\text{inicial}}} \right) \cdot 100$$

(1)

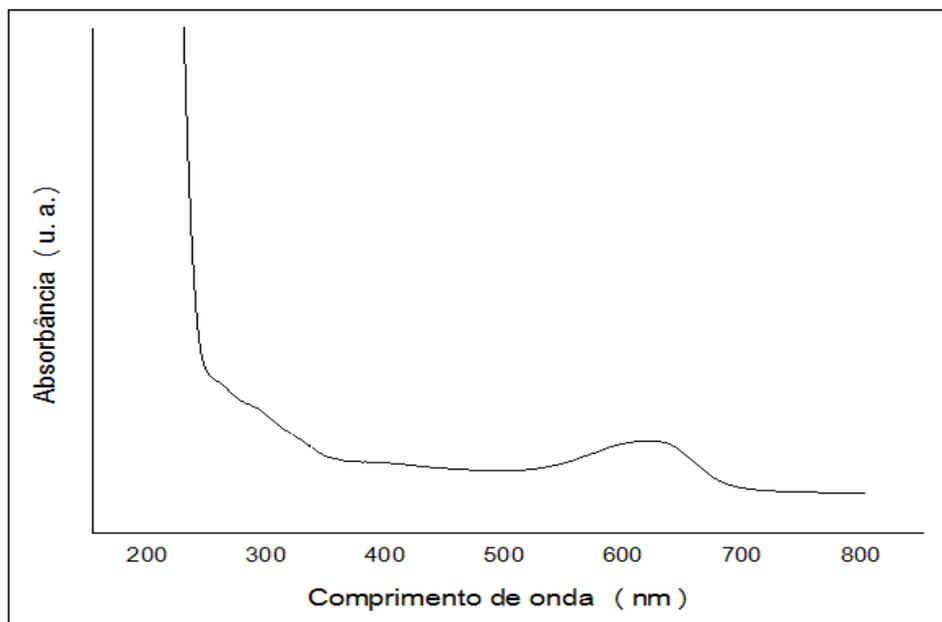
Em que: Desc (%) é o percentual de descoloração, Absinicial é absorbância inicial do efluente e Absfinal é a absorbância final do efluente após 5 h de tratamento.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1. Espectro de Absorção Uv-Vis do Efluente

Como o efluente a ser tratado era formado por descartes de soluções sintéticas dos corantes C.I. Reactive Blue 198 (625 nm) e C.I. Reactive Blue 250 (616 nm), inicialmente, avaliou-se o espectro de absorção UV-Vis do efluente entre 200 e 800 nm, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Espectro de absorção UV-Vis do efluente formado por descartes das soluções sintéticas dos corantes C.I.Reactive Blue 198 e C.I. Reactive Blue 250.



Fonte: autora própria.

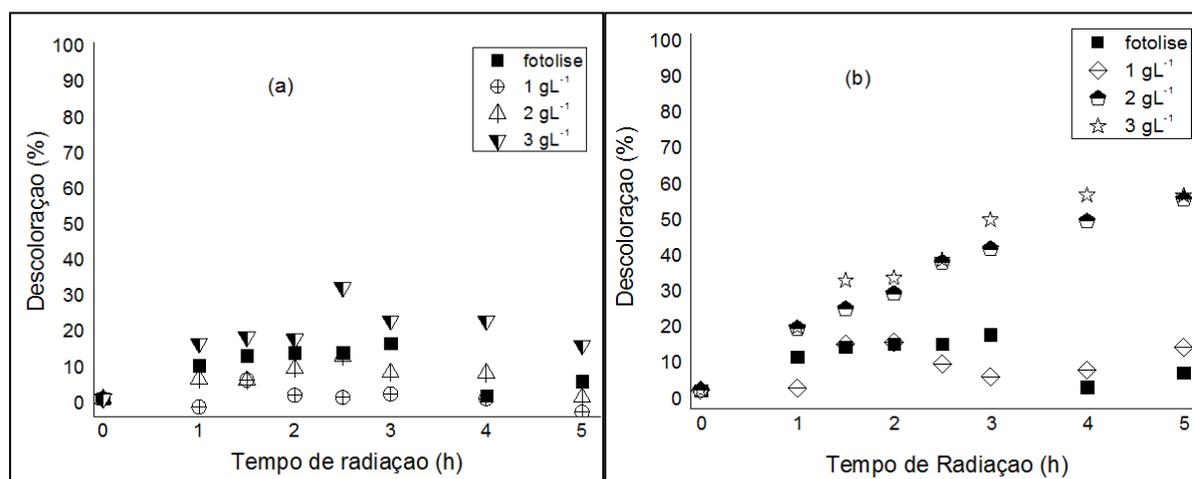
É possível observar (Figura 1) que o efluente possui uma banda larga entre 500 e 700 nm, que coincide com a faixa dos comprimentos de onda de absorção máxima dos dois corantes que formam o efluente (616 e 625 nm). Como esses valores são próximos, a mistura das soluções sintéticas fez com que o efluente apresentasse apenas um comprimento de onda de absorção máxima em 617 nm. Assim, todas as análises de avaliação da descoloração ocorridas durante os processos de fotocatalise e fotólise foram avaliadas no comprimento de onda de 617 nm.

3.2. Ensaios Fotocatalíticos

Os ensaios fotocatalíticos ocorreram no mês de abril de 2016, em que a temperatura do meio reacional variou entre 28 e 36 oC, pois havia grande incidência de radiação solar. O pH não apresentou alteração significativa após os experimentos, ficando aproximadamente em 6,7. O percentual de descoloração

do efluente em função do tempo de reação para os experimentos de fotólise e fotocatalise está apresentado na Figura 2. Pode-se perceber que o catalisador 0,1% Fe₂O₃-5% ZnO/A à 3 g L⁻¹ (Figura 2.a) apresentou o maior percentual de descoloração (31%) após 2,5 h de experimento em comparação de 1 g L⁻¹ (5%) e 2 g L⁻¹ (11%) de 0,1% Fe₂O₃-5% ZnO/A e fotólise (15%), o que indica que quanto maior a concentração desse catalisador, maior a degradação do efluente. Este comportamento ocorreu porque há maior quantidade de sítios ativos disponíveis para a reação com o aumento da concentração de catalisador no meio reacional (LOPES et al., 2015). Após 2,5 h de reação, a descoloração diminuiu, o que pode ter ocorrido devido à formação de algumas substâncias intermediárias devido às reações paralelas na presença de Fe₂O₃ que promoveram o aumento da absorbância da solução (SALLES et al., 2006).

Figura 2 - Percentual de descoloração do efluente em função do tempo de radiação por fotólise e fotocatalise com 1, 2 e 3 g L⁻¹ dos catalisadores (a) 0,1% Fe₂O₃-5% ZnO/A e (b) 0,1% Nb₂O₅-5% ZnO/A. Testes realizados em abril/2016 com temperatura entre 28 e 36°C e pH 6,7.



Fonte: autora própria.

Em relação aos testes fotocatalíticos realizados com o catalisador 0,1% Nb₂O₅-5% ZnO/A (Figura 2.b), praticamente não houve diferença entre as concentrações de 2 g L⁻¹ (53%) e 3 g L⁻¹ (54%), o que indica que a partir de 2 g L⁻¹, o aumento da concentração deste catalisador não melhora a eficiência do processo, podendo até prejudicar em quantidades maiores. Acima da melhor condição, quanto maior a massa, maior a aglomeração das partículas do catalisador, pois o sistema não possui agitação, diminuindo a área de contato do catalisador com as partículas de corante do efluente, além de dificultar a penetração da radiação e conseqüentemente a ativação do catalisador, afetando negativamente a reação (FOGLER, 2009).

Comparando-se os processos de fotólise e fotocatalise, percebe-se que a fotólise foi inferior à fotocatalise quando se utilizou os dois catalisadores (0,1% Nb₂O₅-5% ZnO/A e 0,1% Fe₂O₃-5% ZnO/A). Conforme Lucilha et al. (2009) e Doorslaer et al. (2011), isto ocorre porque os semicondutores possuem sítios ativos em sua superfície para adsorver as moléculas de corante e de água, fazendo com que a energia de ativação diminua e aumente a velocidade da reação na

fotocatálise, o que favorece a produção dos radicais hidroxila e, conseqüentemente, o aumento no percentual de descoloração. Além disso, ressalta-se que os processos de fotocatalise com 2 e 3 g L⁻¹ de 0,1% Nb₂O₅-5% ZnO/A tiveram maior rendimento do que o teste fotocatalítico com 3 g L⁻¹ de 0,1% Fe₂O₃-5% ZnO/A. Isto ocorre devido à maior capacidade de adsorção, maior área superficial específica e maior diâmetro médio de poros do 0,1% Nb₂O₅-5% ZnO/A em relação aos do 0,1% Fe₂O₃-5% ZnO/A, conforme demonstrado em Slusarski-Santana et al. (2016), o que facilita o processo de fotodegradação. Segundo Peternela e Santana (2013), o catalisador 0,1% Nb₂O₅-5% ZnO/A também foi ativado sob radiação UV artificial, apresentando melhores resultados que o ZnO puro suportado em zeólita A. Apesar do catalisador 0,1% Fe₂O₃-5% ZnO/A ter apresentado baixo percentual de descoloração sob radiação solar, esta combinação Fe₂O₃ e ZnO já se mostrou eficiente. Wu et al. (2012) obtiveram melhores resultados sob radiação artificial com o catalisador α-Fe₂O₃/ZnO em comparação ao ZnO puro disperso em solução. Assim, percebe-se que o Nb₂O₅ foi favorável para a fotocatalise, o Fe₂O₃, por sua vez, não foi ativado sob radiação solar, contudo este fato pode ocorrer perante luz artificial. Assim, pode-se dizer que a melhor condição para realizar a fotocatalise do efluente deste estudo foi com o catalisador 0,1% Nb₂O₅-5% ZnO/A com concentração de 2 g L⁻¹.

4. CONCLUSÃO

Após realizar os testes de fotólise e fotocatalise, percebeu-se que o processo de fotólise foi menos eficiente do que a fotocatalise, pois devido à presença do catalisador tem-se um mecanismo diferente de degradação, o qual promove maior geração de radicais hidroxilas que são responsáveis pela degradação dos poluentes orgânicos. Em relação ao tipo de catalisador, a combinação de óxidos se mostrou eficiente, no entanto, o catalisador 0,1% Nb₂O₅-5% ZnO/A apresentou melhor resultado sob radiação solar em comparação ao catalisador 0,1% Fe₂O₃-5% ZnO/A, devido às características distintas destes materiais. Quanto à concentração de catalisador, 2 g L⁻¹ foi a melhor condição para atingir 53% de descoloração do efluente com 0,1% Nb₂O₅-5% ZnO/A. Desta forma, o catalisador suportado contendo a combinação de Nb₂O₅ e ZnO é uma alternativa promissora como fotocatalisador, visando o uso de radiação solar e contribuindo para o princípio da química verde.

REFERÊNCIAS

ATLA, S. B.; LIN, W. R.; CHIEN, T. C.; TSENG, M. J.; SHU, J. C.; CHEN, C. C.; CHEN, C. Y. **Fabrication of Fe₃O₄/ZnO Magnetite Core Shell and its Application in Photocatalysis using Sunlight**. Materials Chemistry and Physics, v. 216, p. 380-386, 2016.

AYODHYA, D.; VEERABHADRAM, G. **A Review on Recent advances in photodegradation of dyes using doped and heterojunction based semiconductor metal sulfide nanostructures for environmental protection**. Materials Today Energy, v. 9, p. 83-113, 2018.

BILINSKA, L.; GMUREK, M.; LEDAKOWICZ, S. **Textile wastewater treatment by AOPs for brine reuse**. Process Safety Environmental Protection, v. 109, p. 420-428, 2017.

BYRNA, C.; SUBRAMANIAN, G.; PILLAI, S. C. **Recent advances in photocatalysis for environmental applications**. Journal of Environmental Chemical Engineering, v.6, p. 3531-3555, 2018.

CARRILLO, M. A. H.; RICÁRDEZ, R. T.; MENDOZA, M. F. G.; MORALES, E. R.; BLANCO, L. R.; FLORES, L. L. D.; PALACIOS, G. E. S.; DELGADO, F. P.; HERNÁNDEZ, G. P. **Eu-modified ZnO Nanoparticles for Application in Photocatalysis**. Catalysis Today, in press, 2018.

CHEN, B.; LEE, W.; WESTERHOFF, P. K.; KRASNER, S. W.; HERCKES, P. **Solar photolysis kinetics of disinfection by products**. Water Research, v.44, n.11, p. 3401-3409, 2010.

DOORSLAER, X. V.; DEMEESTERE, K.; HEYNDERICKX, P. M.; LANGENHOVE, H. V.; DEWULF, J. **UV-A and UV-C induced photolytic and photocatalytic degradation of aqueous ciprofloxacin and moxifloxacin: Reaction kinetics and role of adsorption**. Applied Catalysis B: Environmental, v. 101, p. 540-547, 2011.

FATTA-KASSINOS, D.; VASQUEZ, M. I.; KUMMERER K. **Transformation products of pharmaceuticals in surface waters and wastewater formed during photolysis and advanced oxidation processes - Degradation, elucidation of byproducts and assessment of their biological potency**. Chemosphere, v.85, p. 693-709, 2011.

FIOREZE, M.; SANTOS, E. P.; SCHMACHTENBER, N. **Processos oxidativos avançados: fundamentos e aplicação ambiental**. Revista eletrônica em gestão, educação e tecnologia ambiental – REGET, v. 18, p. 97-91, 2014.

FOGLER, H. S. **Elementos de engenharia das reações químicas**. 4^a ed. Rio de Janeiro: TLC, 2009.

FONTANA, K. B.; LENZI, G. G.; SEÁRA, E. C. R.; CHAVES, E. S. **Comparison of photocatalysis processes for arsenic oxidation in water**. Ecotoxicology and Environmental Safety, v. 151, p. 127-131, 2017.

GONÇALVEZ, M. C. P.; PADILHA, S. R. R.; LOPES, M. F.; PARIS, E. C.; GIRALDI, T. R. **Aplicação de Nb₂O₅ comercial para descoloração do corante azul de metileno pelo processo de fotocatalise**. Revista de Engenharia e Tecnologia, v. 9, n.2, p. 95-105, 2017.

HARIKUMAR, P. S.; LITTY, J.; DHANYA, A. **Photocatalytic degradation of textile dyes by hydrogel supported titanium dioxide nanoparticles**. Journal of Environmental Engineering & Ecological Science, v. 2, n. 2, p. 1-9, 2013

IGNACHEWSKI, F.; FUJIWARA, S. T.; CÓTICA, L. F.; CARNEIRO, L. M.; TAUCHERT, E.; PERALTA-ZAMORA, P. **Degradação de corantes reativos por processo foto-fenton envolvendo o uso de peneira molecular 4A modificada com Fe³⁺**. Química Nova, v. 33, n. 8, p. 1640-1645, 2010.

JAFARI, N.; KERMANSHAHI, R. K.; SOUDI, M. R.; MAHVI, A. H.; GHARAVI, S. **Degradation of a textile reactive azo dye by a combinedbiological-photocatalytic process: Candida tropicalis Jks2 -TiO₂/UV**. Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering, v.9, p. 234- 240, 2012.

KIM, J. R.; KAM, E. **Heterogeneous photocatalytic degradation of sulfamethoxazole in water using a biocchar-supported TiO₂ photocatalyst.** Journal of Environmental Management, v.180, p. 94-101, 2016.

LI, F.; WANG, X.; LI, Y.; LIU, C.; ZENG, F.; ZHANG, L.; HAO, M.; RUAN, H. **Enhancement of the reductive transformation of pentachlorophenol by polycarboxylic acids at the iron-oxide water interface.** Journal of Colloid and Interface Science, v. 321, n. 2, p. 332-341, 2008.

LIMA, G. G. C.; LIMA, C. A. P.; VIEIRA, F. F.; SILVA, E. M. **Estudo comparativo da aplicação de nanopartículas de TiO₂ e ZnO na descoloração fotocatalítica de uma solução de corante empregando radiação UV artificial.** Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v. 9, n. 1, p. 22-27, 2014.

LOPES, O. F.; DE MENDONÇA, V. R.; SILVA, F. B.; PARIS, E. C.; RIBEIRO, C. **Óxidos de Nióbio: uma visão sobre a síntese do Nb₂O₅ e sua aplicação em Fotocatálise Heterogênea.** Química Nova, v.38, n.1, p.106-117, 2015.

LUCILHA A. C.; DA SILVA P. R. C.; DALL'ANTONIA, L. H. **Fotocatálise do azul de metileno na presença de óxido de bismuto sob irradiação de luz UV e solar.** Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, v. 35, n. 1, p. 55-62, 2009.

LOURY, S. K.; BOSE, D.; DURGBANSHI, A.; ESTEVE-ROMERO, J.; CARDABROCH, S. **Determination of some banned aromatic amines in waste water using micellar liquid chromatography.** Analytical Methods, v.3, n. 9, p. 2032-2040, 2011.

OLIVEIRA, L. C. A.; FABRIS, J. D.; PEREIRA, M. C. **Óxidos de ferro e suas aplicações em processos catalíticos: uma revisão.** Química Nova, v. 36, n. 1, p. 123-130, 2013.

PERISC, D. J.; BOZIC, A. L.; GILJA, V.; STANKOV, M. N.; KATANCIC, Z.; KUSIC, H.; STANGAR, U. L.; DIONYSIOU, D. D. **Removal of diclofenac from water by zeolite-assisted advanced oxidation processes.** Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, v.321, p. 238-247, 2016.

PETERNELA, P.; SANTANA, V. S. **Preparação e avaliação da atividade fotocatalítica dos catalisadores Nb₂O₅-ZnO/zeólita A na degradação do corante reativo azul 5G.** III Encontro Paranaense de Engenharia e Ciência, 2013 Paraná, Brasil, 100-106.

SALLES, P.D.T.F.; PELEGRINI, N.N. B.; PELEGRINI, R.T. **Tratamento eletroquímico de efluente industrial contendo corantes reativos.** Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia, v.3, n. 2, p. 025-040, 2006.

SHAO, M.; HAN, J.; WEI, M.; EVANS, D. G.; DUAN, X. **The synthesis of hierarchical Zn-Ti layered double hydroxide for efficient visible-light photocatalysis.** Chemical Engineering Journal, v. 168, p. 519-524, 2011

SLUSARSKI-SANTANA, V.; FIORESE, M. L.; PETERNELA, J.; CARDOSO, C. O. **Avaliação da Atividade de Catalisadores Suportados na Fotodegradação do Corante Reativo Azul 5G** In: Estudos em Engenharia - Coletânea do II Encontro de Pesquisa da FATEB. 1 ed. Telêmaco Borba: Editora FATEB, 2016, v.1, p. 23-36.

SOUZA, R. P.; FREITAS, T. K. F. S.; DOMINGUES, F. S.; PEZOTI, O.; AMBROSIO, E.; LIMA, A. M. F.; GARCIA, J. C. **Photocatalytic activity of TiO₂, ZnO and Nb₂O₅ applied to degradation of textile wastewater.** Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, v. 329, p. 9-17, 2016.

TIBURTIUS, E. R. L.; PERALTA-ZAMORA, P. **Contaminação de águas por BTX e processos utilizados na remediação de sítios contaminados.** Química Nova, v.27, n.3, p.441-446, 2004.

WU, W.; ZHANG, S.; XIAO, X.; ZHOU, J.; REN, F.; SUN, L.; JIANG, C. **Controllable synthesis, magnetic properties, and enhanced photocatalytic activity of spindle like mesoporous α -Fe₂O₃/ZnO core-shell heterostructures.** ACS Applied Materials & Interfaces, v. 4, n. 7, p. 3602-3609, 2012.

YUNXIA, Y.; CHIANG, K.; BURKE, N. **Porous carbon-supported catalysts for energy and environmental applications: A short review.** Catalysis Today, v. 178, p. 197-205, 2011.

RIBEIRO, P. C.; LIRA, H. L.; SASAKI, J. M.; COSTA, A. C. F. M. **Fotocatálise do corante vermelho de metila com TiO₂ obtido pelo método Pechini.** Revista Matéria, v. 17, n. 2, p. 988-997, 2012.

DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE REDUÇÃO DE UMA CALDEIRA DE RECUPERAÇÃO UTILIZANDO REDES NEURAIS ARTIFICIAIS



Alan Guilherme Hornung¹ e Mayk Willian de Melo Sikorski²

RESUMO

Uma caldeira de recuperação química, em uma indústria de celulose, tem como função principal recuperar a matéria inorgânica do licor negro proveniente do setor de cozimento. A caldeira de recuperação Kraft precisa converter o Na_2SO_4 presente no licor negro a Na_2S que é um dos agentes ativos na produção de celulose pelo processo Kraft. Vários parâmetros e variáveis do processo influenciam na eficiência de redução da caldeira, vazão e temperatura do ar de combustão e concentração do licor negro para queima são alguns exemplos. Tais condições operacionais são por muitas vezes instáveis e dependem ou da automatização do processo ou do conhecimento e experiência do operador. A determinação do valor da eficiência de redução da caldeira é feita por análise laboratorial, isso implica em maior probabilidade de falhas ou erros de cálculo, além do maior intervalo de tempo entre as realizações da análise. A modelagem matemática da caldeira de recuperação tem se mostrado uma ferramenta importante na análise da influência de diferentes condições operacionais no funcionamento deste equipamento. Para este artigo foram utilizadas Redes Neurais Artificiais para acompanhar diversas variáveis do processo e obter valores aproximados da Eficiência de Redução, buscando otimizar os resultados operacionais e facilitar manobras corretivas para evitar distúrbios no processo.

Palavras-chave: Caldeira de Recuperação; Eficiência de Redução; Redes Neurais.

ABSTRACT

A chemical recovery boiler in a cellulose industry has as main function to recover the inorganic matter of black liquor from the baking industry. The Kraft recovery boiler needs to convert the Na_2SO_4 present in the black liquor to Na_2S which is one of the active agents in the production of cellulose by the Kraft process. Various parameters and process variables influence boiler reduction efficiency, combustion air flow and temperature and black liquor concentration for burning are some examples. Such operating conditions are often unstable and depend either on the automation of the process or on the operator's knowledge and experience. The determination of the value of boiler reduction efficiency is done by laboratory analysis, which implies a greater probability of errors or calculation errors, besides the longer time interval between the realizations of the analysis. The mathematical modeling of the recovery boiler has proved to be an important tool in the analysis of the influence of different

¹ Acadêmico do curso de Engenharia Química da FATEB – e-mail: <guilhermehor@hotmail.com.br>.

² Acadêmico do curso de Engenharia Química da FATEB – e-mail: <mayk.sikorski@gmail.com.br>.

operating conditions on the operation of this equipment. For this article, Artificial Neural Networks were used to monitor several process variables and obtain approximate values of Reduction Efficiency, seeking to optimize operational results and facilitate corrective maneuvers to avoid disturbances in the process.

Key-words: Recovery Boiler; Reduction Efficiency; Neural Networks

1. INTRODUÇÃO

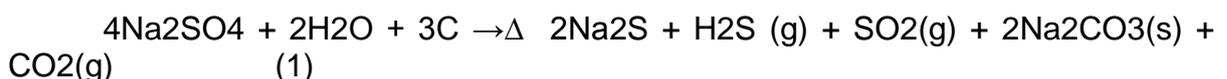
1.1 Caldeira de Recuperação

A caldeira de recuperação química em uma indústria de celulose possui três funções básicas, atua como um reator químico para a produção de sulfeto de sódio (Na₂S) e carbonato de sódio (Na₂CO₃), como uma caldeira para geração de vapor pela combustão de licor preto e como fonte destruidora da matéria orgânica dissolvida, eliminando conseqüentemente o descarte ambiental TAPPI (1992); POLOWSKI (2004).

A caldeira queima o licor preto, que é um subproduto do processo de produção de celulose e que contém componentes orgânicos e inorgânicos em um meio aquoso alcalino. A queima da matéria orgânica possibilita a produção do vapor de alta pressão (GULLICHSEN e FOGELHOLM, 1999).

A maior importância que se dá à queima eficiente do licor preto (combustível) frente à geração de vapor é o que diferencia a caldeira de recuperação de outros tipos de caldeiras. Além de uma geração de vapor dentro das necessidades da fábrica, deseja-se obter a maior quantidade de Na₂ S possível. Dessa forma, a fornalha da caldeira de recuperação funciona como um reator químico onde se deseja maximizar a eficiência de redução (COSTA et al., 2002).

Segundo D'almeida(1988) as reações gerais de licor negro são representadas na equação 1.



Ao serem alimentadas à caldeira, as partículas de licor sofrem diferentes modificações que são classificadas como: secagem (eliminação da umidade restante no licor), pirólise (queima do carbono fixo), oxidação e redução do leito de fundidos (smelt). Cada transformação sofrida pelo licor acontece, predominantemente, em uma região da fornalha da caldeira de recuperação (COSTA et al, 2005).

A alimentação de ar de combustão na fornalha da caldeira é realizada em três níveis, primário, secundário e terciário. A principal razão para isso são as funções antagônicas de proporcionar um ambiente oxidante para as reações de combustão da matéria orgânica do licor preto, e, ao mesmo tempo, promover um ambiente redutor para que as reações de redução do sulfato de sódio para sulfeto de sódio ocorram (ALMEIDA, 2006).

A eficiência de redução é obtida pela equação 2. Soma-se a quantidade de Sulfeto de Sódio (Na₂S) e o Carbonato de Sódio (Na₂CO₃), dividido pela quantidade total da amostra e multiplicado por 100. O resultado é expresso em porcentagem (%).

$$\text{Eficiência:} = \frac{Na_2S+Na_2CO_3}{\text{Total Amostra}} \times 100 \quad (2)$$

Quando se fala em eficiência o valor esperado é sempre próximo de 100%.

1.2 Redes Neurais Artificiais

As Redes Neurais Artificiais (RNA's) são algoritmos matemáticos baseados na estrutura de um neurônio biológico e que possuem a capacidade de relacionar parâmetros de entrada (variáveis independentes) e saída (variáveis dependentes) “aprendendo” com exemplos fornecidos (BAUGHMAN e LIU, 1995. Citado por PINHEIRO, 2011).

As redes neurais são uma boa alternativa para modelagem e simulação de processos industriais, apresentam uma boa capacidade de representar as não linearidades dos processos industriais e são excelentes para modelar processos complexos, pois possuem alta capacidade de aprendizagem como cita (PATAN e PARISINI, 2005. Citado por PINHEIRO, 2011).

O treinamento que também pode ser chamado de processo de aprendizagem consiste em ajustar os pesos sinápticos para a rede neural encontrar valores ótimos de saída ou entrada sem “decorar” os dados apresentados (AGUIAR, 2000).

Segundo Polowski (2009), a aprendizagem é dividida em três tipos:

- Aprendizagem supervisionada é baseada na comparação direta entre a saída da rede e a saída desejada. Frequentemente é formulada como uma minimização de uma função de erro tal como o erro quadrático médio entre a saída da rede e a saída desejada sobre o conjunto de dados disponíveis. Um método de otimização baseado na descida do gradiente, o “backpropagation” pode ser utilizado para ajustar os pesos da rede iterativamente a fim de minimizar o erro;
- Aprendizagem por reforço é um caso especial da aprendizagem supervisionada onde a saída desejada exata é desconhecida sendo baseada somente na informação de uma saída ser ou não ser correta;
- Aprendizagem não supervisionada é baseada na correlação entre os dados de entrada.
- Para realizar o treinamento de uma rede neural é necessário um conjunto de dados que contenha pares de entrada e saídas. Desta forma o problema do treinamento das redes neurais se resume em um problema de otimização em que se deseja encontrar o melhor conjunto de pesos que minimize o erro médio quadrático calculado entre as saídas da rede e as saídas desejadas

2. METODOLOGIA

Foram realizadas pesquisas de campo e conversas com operadores e engenheiros de uma caldeira de recuperação para chegar a uma lista de variáveis que tem maior influência sobre o processo e impactam diretamente na eficiência de redução. Os parâmetros escolhidos estão listados na tabela 1.

1	Vazão de Licor Negro para queima
2	Concentração de Licor Negro
3	Temperatura do Licor negro
4	Vazão de Ar Primário
5	Pressão Ar Primário
6	Temperatura Ar Primário
7	Vazão de Ar Secundário
8	Pressão Ar Secundário
9	Temperatura Ar Secundário
10	Vazão de Ar Terciário
11	Pressão Ar Terciário
12	Temperatura A Terciário
13	Eficiência de Redução (%)

Tabela 1: Parâmetros de controle

Utilizou-se um sistema de gerenciamento da planta para coletar dados e armazená-los em uma planilha eletrônica. Foram coletados dados referentes a 2 anos de operação, a partir de agosto de 2016 até agosto de 2018, com intervalos de 1 (um) dia entre cada leitura, contabilizando 730 leituras de cada variável. Considerando paradas operacionais, falhas de instrumentos/comunicação e outros distúrbios, foram subtraídos os dados que não representavam condições normais e estáveis de operação, restando 514 amostras úteis para serem trabalhadas na rede neural.

3. DESENVOLVIMENTO

Utilizando o Multiple Back Propagation foram inseridos 285 amostras para treinamento da rede e em seguida os 229 valores restantes para os testes da rede. Os parâmetros definidos na Tabela 1 serviram como dados de entrada para treinar a RNA. Após alguns treinos e testes foi definido que o modelo que melhor representaria a rede seria o como 5 neurônios, conforme figura 1.

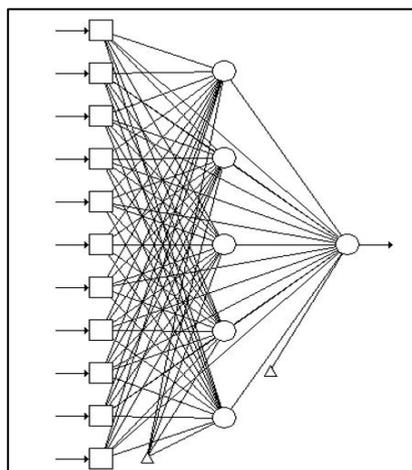


Figura 1: Parâmetros de entrada e Neurônios

A rede foi treinada com 12 parâmetros, cada um com 285 amostras, totalizando 3135 dados. O parâmetro nº12 “Eficiência de Redução” foi designado como o parâmetro que se deseja obter após os testes da rede neural.

Nessa primeira fase na figura 2 é feito um acompanhamento do gráfico de estabilidade de aprendizado, este gráfico nos dá uma leitura de como os valores de treinos estão sendo entendidos e comparados pelos neurônios, foi avaliado o comportamento da rede até estabilizar o processo e não haver variações na medição de erro dos neurônios.

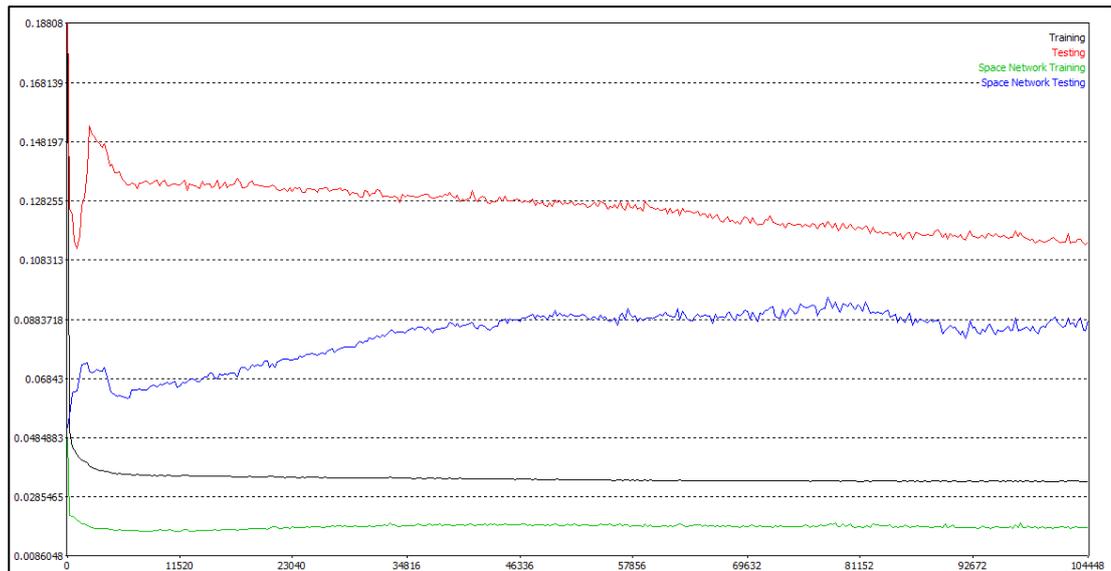


Figura 2 Número de treinamento X erro médio quadrático

A figura 3 é o resultado do treino, o gráfico Eficiência Redução x Número de amostras mostra como o resultado do treino é próximo dos valores reais. Isso se dá por que inicialmente, na etapa de treino, a rede já possui os resultados desejados e consegue relacionar os valores de entrada com o valor que deve ser encontrado.

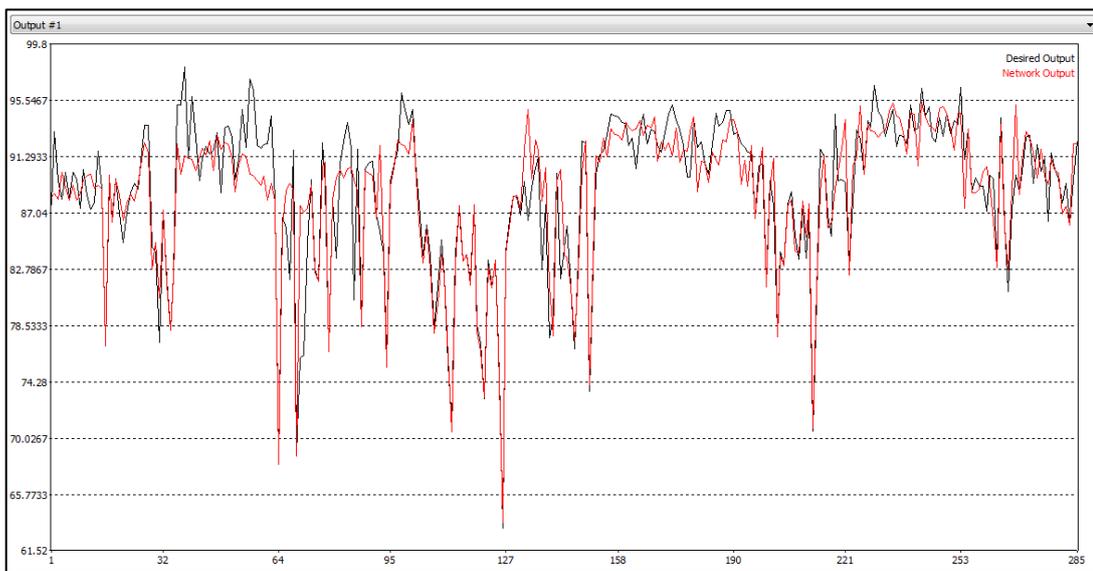


Figura 3: Teste da Rede Neural

Na etapa de testes o algoritmo obtém o resultado sem considerar os dados de entrada do parâmetro específico que se deseja alcançar apenas compara o valor calculado pela rede com o valor que estaria correto, esta afirmação pode ser confirmada observando a figura 4 que mostra o gráfico do treino da rede.

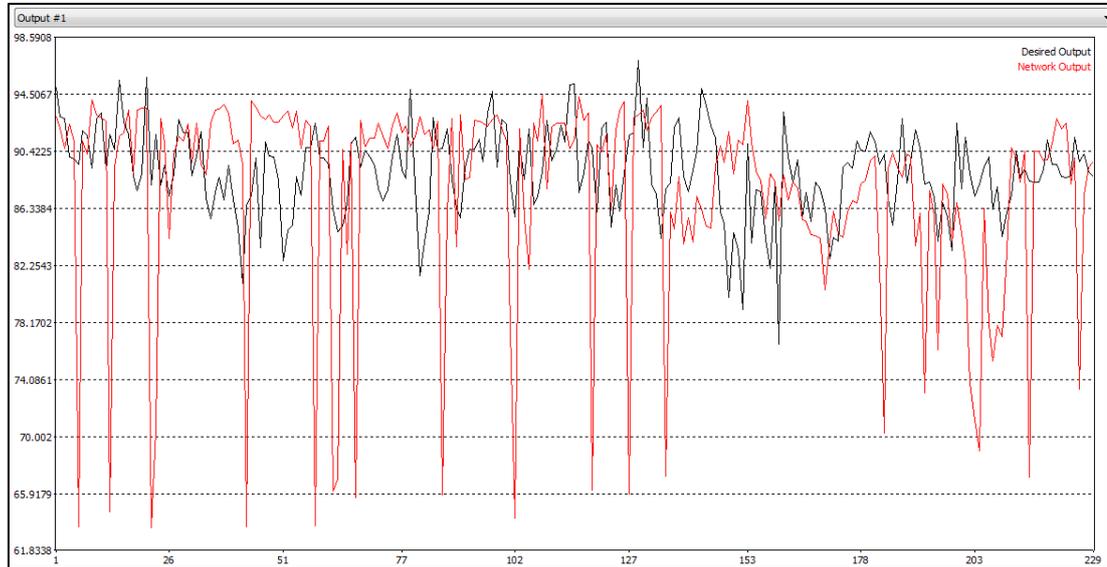


Figura 4: Treino da Rede

Na figura 4 observamos a discrepância muito grande entre o valor desejado e o valor encontrado para a eficiência de redução, esta grande diferença entre os valores se dá pela diferença entre pesos de cada neurônio que influencia no comportamento da rede. Os pesos utilizados estão ilustrados na figura 5.

Main Network												
from the input layer												
to the 1th hidden layer	bias	1th neuron	2th neuron	3th neuron	4th neuron	5th neuron	6th neuron	7th neuron	8th neuron	9th neuron	10th neuron	11th neuron
1th neuron	1.2499	-1.58501	-5.54359	8.91952	4.77276	-6.6168	-2.42864	6.67776	3.23436	6.32842	0.0490069	7.51164
2th neuron	3.59516	-2.38833	0.860738	0.88001	-5.24981	-2.15768	-1.05558	0.531417	0.559557	-7.76635	-2.69471	-0.0826268
3th neuron	2.50769	5.93234	-3.90293	-2.33413	-1.91011	-1.50711	11.2668	9.00427	-13.036	-0.259587	-4.49408	9.38371
4th neuron	3.42515	-4.88013	5.78387	-1.20673	-6.63576	-11.642	-2.00516	11.2225	7.84935	-22.8042	17.5147	-17.3344
5th neuron	2.59945	-0.596089	7.2694	-13.2686	5.52761	-0.96348	8.97891	-5.9575	-2.87675	-3.0122	-7.3151	-18.8949
from the 1th hidden layer												
to the output layer	bias	1th neuron	2th neuron	3th neuron	4th neuron	5th neuron						
1th neuron	-4.30122	5.19428	5.72239	4.94724	4.77303	2.26429						
Space Network												
from the input layer												
to the output layer	bias	1th neuron	2th neuron	3th neuron	4th neuron	5th neuron	6th neuron	7th neuron	8th neuron	9th neuron	10th neuron	11th neuron
1th neuron	-2.51966	3.84774	2.77962	9.92089	2.9042	1.52963	1.79933	2.10317	-6.03762	1.6735	2.70067	-0.220265
2th neuron	-1.14065	-16.721	4.92988	-18.7998	1.03701	14.7279	8.16334	-1.34117	-5.00402	8.35858	1.06304	3.37383
3th neuron	1.46202	-0.610305	7.72081	-5.62152	-13.1548	2.29349	-7.14623	-13.8936	4.74484	0.360071	1.31735	-15.779
4th neuron	-0.580574	-0.137547	-2.85795	-4.11245	-2.43326	3.72177	2.60543	2.13866	-2.08389	-2.98258	-3.0866	1.58394
5th neuron	-1.5865	2.68577	-1.11092	-1.21852	5.28839	1.66174	-5.00751	-3.53416	4.96828	-1.41601	3.56395	5.45011
6th neuron	4.90329	3.4243	21.6725	-17.9417	4.55566	-0.893041	1.86723	7.03007	8.09074	-9.94654	3.82723	-6.42905

Figura 5 Pesos neurônios

Segundo MITTAL e ZHANG, 2000 (citado por PINHEIRO, 2011) as redes neurais têm uma capacidade de adaptação ao problema, por meio de ajuste dos pesos sinápticos, o que corresponde à etapa de treinamento, de modo a aumentar sua eficiência.

De acordo com Haykin 2001 (citado por PINHEIRO, 2011) , um neurônio é

uma unidade de processamento de informação que é fundamental para a operação de uma RNA e os pesos determinam em que grau o neurônio deve considerar sinais de excitação que ocorrem naquela conexão.

4. CONCLUSÃO

A rede utilizada se mostrou ineficiente para o cálculo da eficiência de redução da caldeira de recuperação para os dados utilizados, que buscava se predizer sua eficiência. A ineficiência da rede pode ser atribuída ao equacionamento da rede utilizada, onde os pesos não foram coerentes para a determinação da eficiência de redução. Em alguns pontos do gráfico pode se observar que a rede conseguiu atingir o objetivo, porém os erros foram maiores que os acertos.

Foi avaliado no trabalho que se as variáveis em questão fossem trabalhadas separadamente com o fim de descrever um comportamento de uma única variável para controlar o processo seria mais viável pois seria possível prever uma falha na eficiência de redução por um desvio de comportamento da variável.

REFERÊNCIAS

CORREIA, Flávio Marcelo, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Julho de 2010. **Análise de distúrbios de compactação de cavacos de eucalipto em digestores contínuos fase vapor.** Orientador: Jorge Luiz Colodette. Co-orientadores: Adair Regazzi e José Lívio Gomide.

PINHEIRO, Olivert Soares. Centro Universitário do Leste de Minas Gerais. 2011. **Modelagem E Otimização Do Rendimento De Uma Caldeira De Recuperação Em Uma Indústria De Celulose Kraft.** Orientador: Dr. Dair José de Oliveira.

ALMEIDA, G. M. **Detecção de Situações Anormais em Caldeiras de Recuperação Química.** Tese. ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. SÃO PAULO. 2006.

COSTA, A. O. S.; BISCAIA, E. C.; LIMA, H. L. **Descrição matemática da queima de licor preto na fornalha da caldeira de recuperação.** 35^o Congresso de exposição anual de celulose e papel. São Paulo, SP, 2002.

D'ALMEIDA, M. L. O. **Celulose e Papel. Tecnologia de fabricação de pasta celulósica.** Volume 1, 2^a edição, Capítulo 3. São Paulo: IPT-SENAI, 1988.

GRACE, T. M. Chemical Recovery Process Chemistry. In: Green, R. P., Hough, G. (eds), **Chemical Recovery in The Alkaline Pulping Processes**, 3a ed., chapter 5, Atlanta, USA, TAPPI Press. 1992.

GULLICHSEN, J; FOGELHOLM, C. J. **Papermaking Science and Technology – Chemical Pulping.** Fapet OY, Helsinki, 1999.

TAPPI, Chymical Recovery in Alcaline Processes, 1992.

Smook, G.A.; **Handbook for Pulp & Paper Technologists** . TAPPI/CPPA 1988.

Clayton, D.W. ; In **“The Pulping of Wood” V 1 cap 8 The Chemistry of Alkaline Pulping McGraw Hill**, 1969, p 347-438.

ESTUDO DA ADSORÇÃO DE IBUPROFENO EM MEIO AQUOSO UTILIZANDO ÓXIDO DE GRAFENO



Murilo Barbosa de Andrade¹, Tássia Rhuna Tonial dos Santos², Ana Carolina Sestito Guerra³, Gessica Wernke⁴ e Rosângela Bergamasco⁵

RESUMO

O IBF trata-se de um micropoluinte emergente orgânico que vem causando preocupações por apresentar-se em quantidades elevadas em ambientes aquáticos naturais, tornando importante seu estudo de remoção. O presente estudo objetivou estudar a adsorção de ibuprofeno (IBF) em óxido de grafeno (GO) sendo obtido pelo método de Hummers modificado, caracterizado morfológicamente e utilizado em ensaios de adsorção em batelada. Os parâmetros avaliados foram, pH, dosagem de adsorvente e tempo de equilíbrio. A cinética de adsorção foi investigada e ajustadas aos modelos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem, sendo o modelo de pseudo-segunda ordem que melhor representou a adsorção de IBF em GO. Os resultados dos ensaios de adsorção demonstraram que 4 horas foi tempo suficiente para que ocorresse o equilíbrio da adsorção do IBF, atingindo uma remoção de 81,35% na temperatura de 25 °C possibilitando uma capacidade máxima de adsorção de 8,35 mg g⁻¹.

Palavras-chave : ibuprofeno; óxido de grafeno; adsorção.

ABSTRACT

The IBF is an emerging organic micropollutant that has been causing concern to be present in high amounts in natural aquatic environments, making its removal study important. The present study aimed to study the adsorption of ibuprofen (IBF) in graphene oxide (GO) obtained by the modified Hummers method, characterized morphologically and used in batch adsorption experiments. The parameters evaluated were pH, adsorbent dosage and equilibration time. The adsorption kinetics were investigated and adjusted to the pseudo first order and pseudo second order models, and the pseudo second order model was the one that best represented the IBF adsorption in GO. The results of the adsorption experiments demonstrated that 4 hours was enough time for IBF adsorption equilibrium to occur, reaching a 81.35% removal at 25 °C allowing a maximum adsorption capacity of 8.35 mg g⁻¹.

Key-words: ibuprofen; graphene oxide; adsorption.

¹ Doutorando do Programa de pós-graduação em Engenharia Química da UEM – e-mail: <mubandrade@hotmail.com>.

² Pós Doutoranda do Programa de pós-graduação em Engenharia Química da UEM – e-mail: <tassia_tonial@hotmail.com>.

³ Mestranda do Programa de pós-graduação em Engenharia Química da UEM – e-mail: <anacarolina_guerra@hotmail.com>.

⁴ Doutoranda do Programa de pós-graduação em Engenharia Química da UEM – e-mail: <gessica.wernke@hotmail.com>.

⁵ Doutora em Engenharia Química e professora do Departamento de Engenharia Química da UEM – e-mail: <ro.bergamasco@hotmail.com>.

1. INTRODUÇÃO

Estudos demonstram que contaminantes emergentes e recalcitrantes, estão sendo relacionados a potenciais problemas de poluição da água (Smith, 2009; Bahamon et al., 2017). Estes contaminantes emergentes, são constantemente gerados como subprodutos da população, possuem baixa biodegradabilidade e pouco conhecimento sobre os impactos causados na saúde humana e no meio ambiente (Hernando et al., 2006; Nuzhdin et al., 2007; Bahamon et al., 2017).

Os micropoluentes emergentes orgânicos (como compostos farmacêuticos, bem como seus metabólitos e subprodutos tóxicos) vem causando preocupação nos pesquisadores, por representarem uma fração excessiva desses contaminantes emergentes em ambientes aquáticos naturais (Kümmerer, 2009; Chakraborty et al., 2018).

Nas últimas décadas estudos mostram que as drogas farmacêuticas, vendidas tanto com prescrição quanto sem receita, podem acabar em corpos hídricos através da excreção humana como produtos do metabolismo ou despejo indiscriminado de medicamentos não utilizados (Bound e Voulvoulis, 2005; Banerjee et al., 2016). Em particular, os anti-inflamatórios não esteróides (AINEs) estão entre os grupos de fármacos mais comuns detectados em águas superficiais e subterrâneas em todo o mundo, causando efeitos nocivos ao meio ambiente e saúde humana (Bolong et al., 2009; Ziylan e Ince, 2011; Ondarts et al., 2018).

O ácido 2-(4-isobutilfenil) propanoico popularmente conhecido como ibuprofeno (IBP) é um dos AINEs mais consumidos em todo o mundo que é identificado em quantidade razoável como efluente em várias estações de tratamento de esgoto e de águas residuais (Guedidi et al., 2013; Luo et al., 2014). O IBP está entre os 5 fármacos mais consumidos no Reino Unido (Banerjee et al., 2016). Este micropolvente pode ser detectado em concentrações baixíssimas, ng L⁻¹ à mg L⁻¹ (Miège et al., 2008; Jakimska et al., 2014; Banerjee et al., 2016). Os grupos hidroxílicos e carboxílicos são metabólitos da degradação do IBP em soluções aquosas, eles são considerados como subprodutos tóxicos possuindo efeito indesejável no sistema nervoso central humano e também têm um efeito cumulativo a alterações do ecossistema aquático (Chakraborty et al., 2018).

Sendo assim, surge a necessidade de eliminação desse micropolvente farmacêutico presente nas águas superficiais, visando a minimização do seu impacto ambiental. De acordo com Chonova et al. (2016), os tratamentos biológicos não são capazes de degradar completamente os fármacos, sendo necessário a utilização de tratamentos terciários. Devido a molécula de IBP possuir alta mobilidade e pouca solubilidade em água (21 mg L⁻¹), os métodos convencionais de tratamento como sedimentação, floculação e coagulação não possuem eficiência de remoção do IBP. Conseqüentemente, surge a necessidade de utilizar técnicas de remoções mais eficientes como degradação eletroquímica, irradiação ultrassônica, processos oxidativos avançados (POAs), fotodegradação, membrana de ultrafiltração, ozonização, foto-fenton e processo de adsorção tem sido explorado para remoção de IBP (Chakraborty et al., 2018). Embora, as técnicas acima mencionadas tenham sido estabelecidas por serem eficientes, a adsorção é o processo mais recomendado devido ao seu baixo custo efetivo, é facilmente operável, apresenta-se altamente eficaz e é possível uma aplicabilidade em larga escala (Hasan e Jhung, 2015; Akhtar et al., 2016; Chakraborty et al., 2018).

A remoção de diferentes contaminantes nos últimos anos através do processo de adsorção, revelou-se um método eficiente comercialmente para utilização em instalações de tratamento de água convencionais (Liu et al., 2012;

Banerjee et al., 2016). Diferentes matérias como argilas, polímeros porosos hidrofóbicos e materiais à base de carbono vem sendo utilizados para remoção de forma seletiva de poluentes orgânicos e inorgânicos da água (Banerjee et al., 2016).

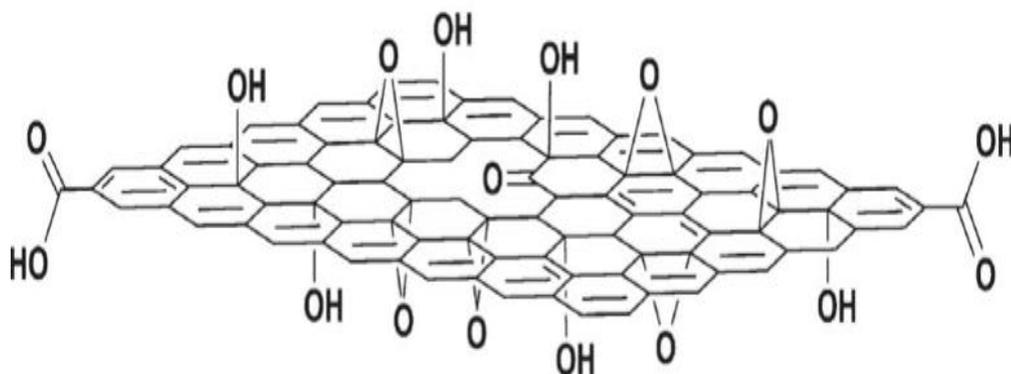
Dentre os materiais, os que são à base de carbono têm atraído gradualmente a atenção no campo da tecnologia de tratamento de água devido a sua abundância e elevada área superficial (Vu et al., 2017). Um material que, desde a descoberta, vem ocupando posição de destaque internacionalmente devido as suas promissoras aplicações é o grafeno (Allen et al., 2009). Suas excelentes propriedades químicas, mecânicas, ópticas e eletrônicas tem atraído grande interesse de pesquisa para suas potenciais aplicações (Geim, 2009) e motivado grandes esforços para síntese, caracterização e obtenção de materiais de alto rendimento derivados de grafeno (Allen et al., 2009).

Ao contrário de carvão ativado ou de nanotubos de carbono que requerem condições químicas severas e processo de produção complicado, óxido de grafeno (GO) pode ser sintetizado utilizando método Hummer's modificado em que o grafite sofre processo de oxidação pelos oxidantes que levam à formação de compostos oxigenados no grafeno (Zhu et al., 2010), através desse método de oxidação química, pode-se também produzir reduções de óxidos de grafeno (RGO) através da introdução de grupos funcionais reativos de oxigênio contendo epoxi, hidroxila e carboxila entre camadas de carbono de grafite (Liu et al., 2011; Ban et al., 2012).

O GO possui uma estrutura bidimensional (2D) de espessura atômica única e excelentes propriedades mecânicas, térmicas e elétricas (Teker et al., 1997). GO tem uma estrutura em camadas estendidas com grupos hidrófilos, polares, tais como -OH, -COOH, grupos epóxi e que pode ser obtida a partir de suas camadas (Lingamdinne et al., 2016). Também tem sido usado para a erradicação de bactérias (Hu et al., 2010; Park et al., 2010). O método mais popular utilizado para a síntese de GO é a oxidação química de grafite (Dreyer et al., 2010). A vantagem deste método é a formação de grande quantidade de óxido de grafeno em camadas que são dispersíveis em solventes polares e não polares por funcionalização na superfície de grafeno (Dreyer et al., 2010; Huang et al., 2011).

Os grupos funcionais da superfície do GO podem ser utilizadas como locais de ancoragem para a ligação com contaminantes, tornando-se um material com potencial e um adsorvente ideal (Wang et al., 2015). A figura 1 demonstra a estrutura da superfície do grafeno.

Figura 1 - Estrutura do óxido de grafeno.



Fonte: Pandey et al. (2008).

O presente trabalho foi realizado para investigar a capacidade de adsorção do

óxido de grafeno para a remoção de um IBP de solução aquosa.

2. METODOLOGIA

2.1 Síntese do Adsorvente (Go)

A síntese do (GO) foi realizada utilizando-se o método de Hummers modificado (Kovtyukhova et al., 1999). Este método é dividido em pré oxidação e oxidação, conforme ilustrado na Figura 9. Na pré oxidação, adicionou-se a um recipiente o grafite, o pentóxido de fosforo, o ácido sulfúrico e o sulfato de potássio e manteve-se a mistura sob agitação por 5 horas a uma temperatura de 80°C. Esse material foi então lavado com água deionizada, filtrado à vácuo e posteriormente seco em estufa por 12 horas. Após a secagem, obteve-se o grafeno pré oxidado. Na etapa de oxidação, adicionou-se o grafeno pré-oxidado, o ácido sulfúrico e homogeneizou-se. Em seguida, adicionou-se então o permanganato de potássio mantendo a temperatura constante sob agitação por 2 h. Desligou-se o controle de temperatura e em condições de banho de gelo adicionou-se lentamente a água deionizada cuidando para que a temperatura da solução para não ultrapassasse 50°C. Após estabilizada a temperatura da solução, agitou-se por mais 2 horas. Para o término da reação, adicionou-se água deionizada e o peróxido de hidrogênio. Em seguida, adicionou-se uma solução de ácido clorídrico 10%, e iniciou-se a centrifugação da mistura descartando o sobrenadante e adicionando água deionizada após cada etapa de centrifugação, até atingir pH próximo à 7. Secou-se o material obtido em estufa por 12 h, obtendo-se assim o óxido de grafeno (GO).

2.2 Preparação de Solução de Adsorbato (Ibp)

O IBP foi adquirido da Prati Donaduzzi e utilizado como recebido. Este composto possui baixa solubilidade em água, porém possui alta solubilidade em quase todos os solventes orgânicos (Banerjee et al., 2016). Preparou-se uma solução padrão (10 mg L⁻¹) de IBP dissolvendo a quantidade pesada de IBP em pó em solução de metanol a 10% e levou para agitação (Banerjee et al., 2016).

2.3 Métodos De Análise Para Quantificação Dos Contaminantes

Uma curva de calibração do IBP foi construída na faixa de concentração de 1-50 mg L⁻¹ preparada em frascos volumétricos. A quantificação do IBP foi realizada a uma absorvância de 221 nm em espectrofotômetro de UV-visível (HACH DR 5000). Cada alíquota de amostra coletada foi filtrada com membrana de 0,45 µm, para determinação da concentração residual ou de equilíbrio (C_e) por meio de leitura no espectrofotômetro de UV-visível.

2.4 Caracterizações

Microscopia Eletrônica de Transmissão (Met)

A morfologia das amostras foi analisada por microscopia eletrônica de transmissão (MET), com um microscópio JEOL JEM-1400 de 120 kV. As amostras foram depositadas em porta amostras de Cu recobertos com filme de carbono (CF200-Cu, EMS).

Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Para a análise por microscopia eletrônica de varredura, as amostras foram coladas com fita de carbono de dupla face sobre um suporte de alumínio, recobertos com uma fina camada de ouro e paládio e visualizados em um microscópio eletrônico de varredura (QUANTA 250 FEI) a uma tensão de aceleração de 15kV.

Ensaio de adsorção

Os experimentos de adsorção foram realizados em erlenmeyers de 50 mL, submetidos à agitação em mesa agitadora (Shaker) a 150 rpm, por intervalos de tempo predeterminados (15 min a 24 horas). Foram realizados testes preliminares para a avaliação da eficiência dos adsorventes, utilizando a massa de adsorvente de 10 mg, concentração inicial das soluções foram de 10 ppm, temperatura de 25°C e concentração dos adsorventes 1 g L⁻¹.

Em seguida, foram realizados testes para avaliação dos efeitos provocados pelas variações dos parâmetros de processo, como: tempo de contato do adsorvente com a solução, concentração do adsorvente e pH da solução.

A capacidade de adsorção e o percentual adsorvido foram determinados respectivamente por meio da Equação (1) e Equação (2):

$$q_t = \frac{(C_i - C_t) * V}{m_{ads}} \quad \text{Equação (1)}$$

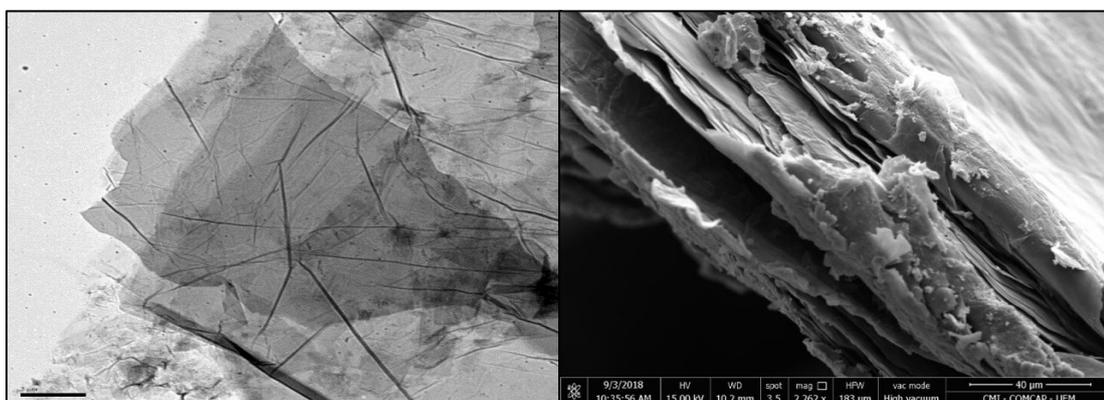
$$\% \text{ adsorvida} = \frac{(C_i - C_t)}{C_i} * 100 \quad \text{Equação (2)}$$

em que q_t é a quantidade de fármaco adsorvida por grama de adsorvente no tempo t (mg g⁻¹), C_i e C_t correspondem às concentrações iniciais e no tempo t dos contaminantes na solução (mg.L⁻¹), respectivamente; V é o volume da solução (L) e m_{ads} é a massa de adsorvente utilizada (g).

Os ensaios foram efetuados em duplicata para a concentração inicial de 10 mg L⁻¹ para IBP.

3. DESENVOLVIMENTO

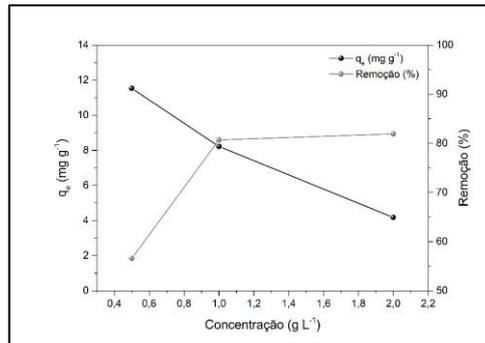
Figura 2 - Micrografias obtidas por MET e MEV para o óxido de grafeno.



Fonte: Autor.

Para avaliar a morfologia do material GO foram utilizadas técnicas MET e MEV e os respectivos resultados são apresentados na Figura 2. Na Figura 2 (a) pode-se observar as folhas de grafeno com dobras e ranhuras, características típica das mesmas (Kim e Park, 2012; Yola et al., 2016; Santos et al., 2017). Na Figura 2 (b) é possível verificar o espaçamento entre as camadas de carbono no grafeno (Li et al., 2018; Wolk et al., 2018), comprovando que ocorreu uma boa oxidação entre as camadas de grafite (Made Joni et al., 2018).

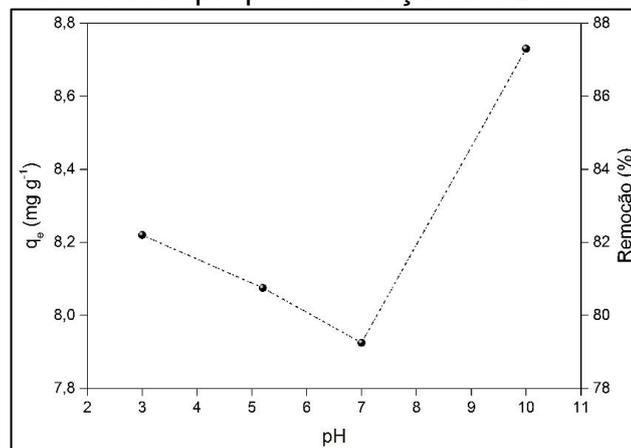
Figura 1 - Avaliação da dosagem do adsorvente GO para remoção do IBP.



Fonte: Autor.

A adsorção do IBP em função da dosagem do adsorvente GO é apresentada na Figura 3. A eficiência de remoção do contaminante apresentou melhora com o aumento da dosagem do adsorvente. A porcentagem de remoção de IBP em 24 h variou de 57 a 82% com um aumento na concentração de adsorvente de 0,5 a 2 g L⁻¹. Isso ocorre devido ao aumento da área superficial disponível atribuída ao aumento da massa de adsorvente, aumentando assim o número de locais de adsorção ativos (Nunes *et al.*, 2009). Como pode ser observado a quantidade de IBP adsorvido por unidade de massa de adsorvente (q_e) diminuiu com o aumento da massa de adsorvente, assim como reduz a área superficial efetiva e consequentemente a razão adsorvato/adsorvente (Franca *et al.*, 2010). Considerando-se que para 1 g L⁻¹ de adsorvente não ocorre aumento significativo da porcentagem de remoção, os experimentos foram realizados utilizando-se uma dosagem do adsorvente de 1 g L⁻¹.

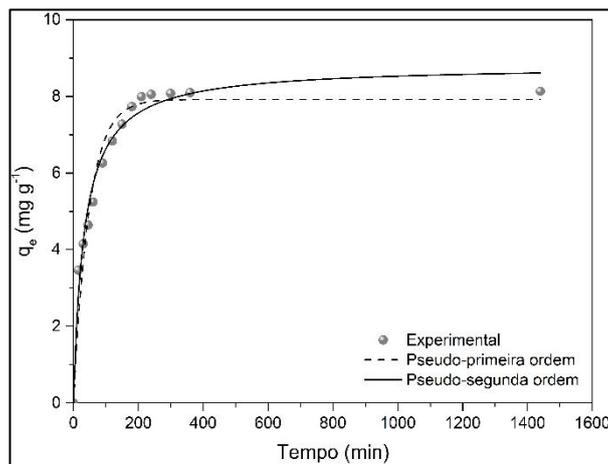
Figura 2 - Avaliação do efeito do pH para adsorção do IBP em GO.



Fonte: Autor.

O pH é um dos parâmetros mais importantes de controle do processo de adsorção. A Figura 4 apresenta o efeito do pH na adsorção do IBP em GO sendo possível observar que a remoção do IBP em GO é favorecida em pH 10 apresentando-se menos eficiente em pHs mais ácidos e neutros, no entanto a diferença no percentual de remoção e na capacidade de adsorção fornecida pela dosagem de ácidos ou bases para ajuste de pH não é significativa de forma que a utilização de reagentes não é justificável. Dessa forma, torna-se desnecessário o ajuste do pH da solução para os processos de adsorção, visto que o pH natural da solução de IBP é 5,2.

Figura 5 - Ajustes cinéticos pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem para adsorção de IBP em GO



Fonte: Autor.

Os mecanismos controladores da adsorção de IBF em GO foram verificados pelo ajuste dos modelos cinéticos, para os dados de adsorção a temperatura de 25 °C. Baseado nos valores do coeficiente de correlação (R²) pode-se determinar qual o melhor modelo. Os parâmetros obtidos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultados de parâmetros cinéticos e ajustes aos modelos estudados para IBP a 25°C.

Modelos	Concentração inicial de IBP (mg L ⁻¹)
	10
q_e (mg g ⁻¹)	8,135
Pseudo 1º Ordem	
K_1 (min ⁻¹)	0,021
q_{ecal} (mg g ⁻¹)	7,922
R^2	0,958
Pseudo 2º Ordem	
K_2 (g mg ⁻¹ min ⁻¹)	0,003
q_{ecal} (mg g ⁻¹)	8,809
R^2	0,978

Fonte: Autor.

Conforme os dados analisados na Tabela 1 o modelo de pseudo-primeira ordem não apresenta a melhor convergência para o adsorvente/adsorvato, o

coeficiente de correlação (R^2) não corresponde ao melhor valor obtido para o processo de adsorção estudado. Portanto, sugere-se que o processo de adsorção do IBF em GO não apresenta melhor ajuste pela equação de pseudo-primeira ordem.

O modelo de pseudo-segunda ordem ajustou-se melhor aos dados experimentais, como podem ser analisados na Tabela 1 e graficamente (Figura 5) obtendo valor elevado do coeficiente de correlação ($R^2 = 0,978$) sugerindo uma excelente correlação entre este modelo e os dados experimentais. Conclui-se assim que o modelo de pseudo-segunda ordem descreve melhor a adsorção do IBF em GO. Comportamento semelhante foi observado no trabalho de Bhadra et al. (2017) para a remoção de IBF em material derivado de carbono.

4. CONCLUSÃO

Por meio das caracterizações do adsorvente pode-se confirmar que ocorreu a oxidação do grafite sendo possível observar espaçamento entre as camadas, verificou-se também que este possui estrutura rugosa com dobras característica do material sintetizado. Os resultados dos ensaios de adsorção demonstraram que 4 horas foi tempo suficiente para que ocorresse o equilíbrio da adsorção do IBF, atingindo uma remoção de 81,35% na temperatura de 25 °C utilizando pH natural de 5,2 e concentração de adsorvente de 1g L⁻¹, possibilitando uma capacidade máxima de adsorção de 8,35 mg g⁻¹. Os dados cinéticos obtiveram melhor ajuste para o modelo de pseudo-segunda ordem, o qual sugere que a velocidade com que o adsorvato é removido em função do tempo é diretamente proporcional a diferença na concentração de saturação e no número de sítios ativos no adsorvente.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo apoio financeiro, à UEM (Universidade Estadual de Maringá) e ao PEQ (Programa de pós-graduação em Engenharia Química) pela oportunidade de desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

AKHTAR, J.; AMIN, N. A. S.; SHAHZAD, K. A review on removal of pharmaceuticals from water by adsorption. **Desalination and Water Treatment**, v. 57, n. 27, p. 12842-12860, 2016.

ALLEN, M. J. et al. Chemically induced folding of single and bilayer graphene. **Chemical Communications**, n. 41, p. 6285-6287, 2009. ISSN 1359-7345.

BAHAMON, D. et al. Computational study of ibuprofen removal from water by adsorption in realistic activated carbons. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 498, p. 323-334, 2017/07/15/ 2017. ISSN 0021-9797.

BAN, F. Y. et al. Graphene oxide and its electrochemical performance. **International Journal of Electrochemical Science**, v. 7, n. 5, p. 4345-4351, 2012. ISSN 1452-3981.

BANERJEE, P. et al. Application of graphene oxide nanoplatelets for adsorption of Ibuprofen from aqueous solutions: Evaluation of process kinetics and thermodynamics. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 101, p. 45-53, 2016/05/01/ 2016. ISSN 0957-5820.

BHADRA, B. N. et al. Adsorptive removal of ibuprofen and diclofenac from water using metal-organic framework-derived porous carbon. **Chemical Engineering Journal**, v. 314, p. 50-58, 2017/04/15/ 2017. ISSN 1385-8947.

BOLONG, N. et al. A review of the effects of emerging contaminants in wastewater and options for their removal. **Desalination**, v. 239, n. 1-3, p. 229-246, 2009.

BOUND, J. P.; VOULVOULIS, N. Household disposal of pharmaceuticals as a pathway for aquatic contamination in the United Kingdom. **Environmental Health Perspectives**, v. 113, n. 12, p. 1705-1711, 2005.

CHAKRABORTY, P. et al. Mechanistic insight into sorptive elimination of ibuprofen employing bi-directional activated biochar from sugarcane bagasse: Performance evaluation and cost estimation. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 6, n. 4, p. 5287-5300, 2018/08/01/ 2018. ISSN 2213-3437.

CHONOVA, T. et al. Separate treatment of hospital and urban wastewaters: A real scale comparison of effluents and their effect on microbial communities. **Science of the Total Environment**, v. 542, p. 965-975, 2016.

DREYER, D. R. et al. The chemistry of graphene oxide. **Chemical Society Reviews**, v. 39, n. 1, p. 228-240, 2010. ISSN 0306-0012.

FRANCA, A. S. et al. Microwave assisted thermal treatment of defective coffee beans press cake for the production of adsorbents. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 3, p. 1068-1074, 2010. ISSN 0960-8524.

GEIM, A. K. Graphene: status and prospects. **Science**, v. 324, n. 5934, p. 1530-1534, 2009. ISSN 0036-8075.

GUEDIDI, H. et al. The effects of the surface oxidation of activated carbon, the solution pH and the temperature on adsorption of ibuprofen. **Carbon**, v. 54, p. 432-443, 2013.

HASAN, Z.; JHUNG, S. H. Removal of hazardous organics from water using metal-organic frameworks (MOFs): Plausible mechanisms for selective adsorptions. **Journal of Hazardous Materials**, v. 283, p. 329-339, 2015.

HERNANDO, M. D. et al. Environmental risk assessment of pharmaceutical residues in wastewater effluents, surface waters and sediments. **Talanta**, v. 69, n. 2 SPEC. ISS., p. 334-342, 2006.

HU, W. et al. Graphene-Based Antibacterial Paper. **ACS Nano**, v. 4, n. 7, p. 4317-4323, 2010/07/27 2010. ISSN 1936-0851.

HUANG, N. M. et al. Simple room-temperature preparation of high-yield large-area graphene oxide. **International Journal of Nanomedicine**, v. 6, p. 3443-3448, 2011. ISSN 1176-9114
1178-2013.

JAKIMSKA, A. et al. Elucidation of transformation pathway of ketoprofen, ibuprofen, and furosemide in surface water and their occurrence in the aqueous environment using UHPLC-QTOF-MS Euroanalysis XVII. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, v. 406, n. 15, p. 3667-3680, 2014.

KIM, K. S.; PARK, S. J. Electrochemical performance of graphene/carbon electrode contained well-balanced micro- and mesopores by activation-free method. **Electrochimica Acta**, v. 65, p. 50-56, 2012. ISSN 0013-4686.

KOVTYUKHOVA, N. I. et al. Layer-by-Layer Assembly of Ultrathin Composite Films from Micron-Sized Graphite Oxide Sheets and Polycations. **Chemistry of Materials**, v. 11, n. 3, p. 771-778, 1999/03/01 1999. ISSN 0897-4756.

KÜMMERER, K. Antibiotics in the aquatic environment - A review - Part I. **Chemosphere**, v. 75, n. 4, p. 417-434, 2009.

LI, G. et al. Microstructure and mechanical performance of graphene reinforced cementitious composites. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 114, p. 188-195, 2018/11/01/ 2018. ISSN 1359-835X.

LINGAMDINNE, L. P. et al. Adsorption removal of Co(II) from waste-water using graphene oxide. **Hydrometallurgy**, v. 165, Part 1, p. 90-96, 2016. ISSN 0304-386X.

LIU, L. et al. Preparation and characterization of chitosan/graphene oxide composites for the adsorption of Au(III) and Pd(II). **Talanta**, v. 93, p. 350-357, 2012.

LIU, S. et al. Antibacterial Activity of Graphite, Graphite Oxide, Graphene Oxide, and Reduced Graphene Oxide: Membrane and Oxidative Stress. **ACS Nano**, v. 5, n. 9, p. 6971-6980, 2011/09/27 2011. ISSN 1936-0851.

LUO, Y. et al. A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment. **Science of the Total Environment**, v. 473-474, p. 619-641, 2014.

MADE JONI, I. et al. Augmentation of graphite purity from mineral resources and enhancing % graphitization using microwave irradiation: XRD and Raman studies. **Diamond and Related Materials**, v. 88, p. 129-136, 2018/09/01/ 2018. ISSN 0925-9635.

MIÈGE, C. et al. Removal efficiency of pharmaceuticals and personal care products with varying wastewater treatment processes and operating conditions - Conception of a database and first results. **Water Science and Technology**, 57: 49-56 p. 2008.

NUNES, A. A.; FRANCA, A. S.; OLIVEIRA, L. S. Activated carbons from waste biomass: An alternative use for biodiesel production solid residues. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 5, p. 1786-1792, 2009. ISSN 0960-8524.

NUZHIDIN, A. L. et al. Enantioselective chromatographic resolution and one-pot synthesis of enantiomerically pure sulfoxides over a homochiral Zn-organic framework. **Journal of the American Chemical Society**, v. 129, n. 43, p. 12958-12959, 2007.

ONDARTS, M. et al. Improving the adsorption kinetics of ibuprofen on an activated carbon fabric through ultrasound irradiation: Simulation and experimental studies. **Chemical Engineering Journal**, v. 343, p. 163-172, 2018/07/01/ 2018. ISSN 1385-8947.

PANDEY, D.; REIFENBERGER, R.; PINER, R. Scanning probe microscopy study of exfoliated oxidized graphene sheets. **Surface Science**, v. 602, n. 9, p. 1607-1613, 2008. ISSN 0039-6028.

PARK, S. et al. Biocompatible, Robust Free-Standing Paper Composed of a TWEEN/Graphene Composite. **Advanced Materials**, v. 22, n. 15, p. 1736-1740, 2010. ISSN 1521-4095.

SANTOS, T. R. T. et al. Development of α - and γ -Fe₂O₃ decorated graphene oxides for glyphosate removal from water. **Environmental Technology**, p. 1-20, 2017. ISSN 0959-3330.

SMITH, S. W. Chiral toxicology: It's the same thing only different. **Toxicological Sciences**, v. 110, n. 1, p. 4-30, 2009.

TEKER, M.; SALTABAŞ, Ö.; İMAMOĞLU, M. Adsorption of cobalt by activated carbon from the rice hulls. **Journal of Environmental Science and Health . Part A: Environmental Science and Engineering and Toxicology**, v. 32, n. 8, p. 2077-2086, 1997/09/01 1997. ISSN 1077-1204.

VU, H. C. et al. Magnetite graphene oxide encapsulated in alginate beads for enhanced adsorption of Cr(VI) and As(V) from aqueous solutions: Role of crosslinking metal cations in pH control. **Chemical Engineering Journal**, v. 307, p. 220-229, 2017. ISSN 1385-8947.

WANG, W. et al. Iron nanoparticles decoration onto three-dimensional graphene for rapid and efficient degradation of azo dye. **Journal of Hazardous Materials**, v. 299, p. 50-58, 2015. ISSN 0304-3894.

WOLK, A. et al. Graphene oxide as flexibilizer for epoxy amine resins. **Progress in Organic Coatings**, v. 122, p. 280-289, 2018/09/01/ 2018. ISSN 0300-9440.

YOLA, M. L. et al. Direct-methanol Fuel Cell Based on Functionalized Graphene Oxide with Mono-metallic and Bi-metallic Nanoparticles: Electrochemical Performances of Nanomaterials for Methanol Oxidation. **Electroanalysis**, v. 28, n. 3, p. 570-579, 2016.

ZHU, Y. et al. Graphene and Graphene Oxide: Synthesis, Properties, and Applications. **Advanced Materials**, v. 22, n. 35, p. 3906-3924, 2010. ISSN 1521-4095.

ZIYLAN, A.; INCE, N. H. The occurrence and fate of anti-inflammatory and analgesic pharmaceuticals in sewage and fresh water: Treatability by conventional and non-conventional processes. **Journal of Hazardous Materials**, v. 187, n. 1-3, p. 24-36, 2011.

ESTUDO DE APLICATIVO PARA FUTURA MODELAGEM DE UMA REDE NEURAL A PARTIR DE DADOS DO SIMULADOR DA EMBRAPA



Allan Fernando de Oliveira¹ Bruno de Oliveira Chagas² Júlio Marcos Gomes Ribeiro³
Thomas Ricardo Wolski⁴ Harrison Andretta de Moraes⁵

RESUMO

O presente trabalho é apresentado como um estudo de pesquisa voltado para o campo de Redes Neurais Artificiais (RNA), onde o enfoque está na determinação de volumes de árvores da espécie *Eucalyptus Urograndis* contidos em um hectare. Utilizando um simulador para obtenção de dados, para usarmos como parâmetros durante a modelagem de uma estrutura de RNA, uma evolução tecnológica já inventada e existente voltada a inventários e povoamentos florestais, manejos e planejamentos estratégicos florestais. No entanto, utilizou-se como ferramenta um simulador disponibilizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) onde este gera um valor de saída para os dados de entrada; neste caso diâmetro e altura, os quais serão os dados de entrada para geração de um valor de saída. Todavia, a RNA testado com o decorrer do tempo de sua utilização passa a ganhar pesos e conhecimento, tornando-o interessante sua aplicação para obter-se respostas mais rápidas e precisas (aproximação mais próxima da realidade) e com o menor valor de erro possível; pois, não serão necessários o abate de várias árvores para medições e determinações volumétricas a partir da cubagem rigorosa, como é feito atualmente com degradação do povoamento florestal. Sendo viável sua aplicação, devido questões sustentáveis, econômicas e ecológicas.

Palavras-chave: *Eucalyptus*; Estipulação de volume de árvore; Inventário florestal; Redes Neurais Artificiais.

ABSTRACT

The present work is presented as a research study for the field of Artificial Neural Networks (ANN), Where the focus is on the determination of volumes of *Eucalyptus Urograndis* trees contained in one hectare. Using a simulator to obtain data, to use as a parameter during the modeling of an ANN structure, an already invented and existing technological evolution focused on forest inventories and stands, management and strategic forest planning. However, a simulator made available by the Brazilian Agriculture Research Corporation (EMBRAPA) was used as a tool where it generates an output value for the input data; in this case diameter and height, which will be the input data for generating an output value. However, the ANN tested with the time of its use begins to gain weights and knowledge, making it

¹ Acadêmico do curso de Engenharia Química da FATEB – e-mail: <allan.f.oliveira@icloud.com.br>.

² Acadêmico do curso de Engenharia Química da FATEB – e-mail: <brunochagas30@gmail.com>.

³ Acadêmico do curso de Engenharia Química da FATEB – e-mail: <julio_marcos7@outlook.com>.

⁴ Acadêmico do curso de Engenharia Química da FATEB – e-mail: <thomas.wolski@ioutlook.com.br>.

⁵ Bacharel em Sistemas de Informação, pós-graduado em Engenharia de Software e Educação a Distância – e-mail: <harri_moraes@hotmail.com>

interesting it's application to get answers faster and more accurate (approximation closer to reality) and with the lowest possible error value; therefore, it will not be necessary to slaughter several trees for a volumetric measurements and determinations from rigorous sampling, as is currently done with degradation of forest stands. Being feasible its application, due to sustainable, economic and ecological issues.

Keywords: Eucalypts; EMBRAPA; Stipulation of Tree Volume; Forest Inventory; Artificial Neural Networks.

1. INTRODUÇÃO

Para KRÜGER et al, 2008; aliar o desenvolvimento sustentável a questões de maior adaptação local, como condições climáticas, é um dos objetivos da chamada tecnologia apropriada. Os criadores deste termo, Schumacher e Hall (1933) enfatizam quatro critérios: pequeno, simples, barato e pacífico. A tecnologia apropriada, no nosso entender, não se deve restringir a critérios apenas técnicos, mas deve também conter critérios sociais e ambientais.

A habilidade de um ser humano em realizar funções complexas e principalmente a sua capacidade de aprender advêm do processamento paralelo e distribuído da rede de neurônios do cérebro. Os neurônios do córtex, a camada externa do cérebro, são responsáveis pelo processamento cognitivo. Um novo conhecimento ou uma nova experiência pode levar a alterações estruturais no cérebro. Tais alterações são efetivadas por meio de um rearranjo das redes de neurônios, reforçando ou inibindo algumas sinapses; as redes neurais artificiais são modelos que buscam simular o processamento de informação do cérebro humano. FERNEDA, 2016.

Para SILVA et al, 2006; as Redes Neurais Artificiais (RNA) são técnicas computacionais inspiradas no funcionamento do sistema nervoso humano e possuem alta capacidade de aprendizado e generalização, o seu uso tem se tornado uma ferramenta eficiente para realização de estimativas volumétricas com precisão.

Segundo GÖRGENS, 2009; cada unidade possui uma função matemática que processa a somatória das entradas do respectivo neurônio, gerando um valor de saída. Este valor então é repassado a todos os neurônios seguintes.

A propriedade que é de importância primordial para uma rede neural é a sua habilidade de aprender a partir de seu ambiente e de melhorar o seu desempenho através da aprendizagem. A melhoria do desempenho ocorre com o tempo de acordo com alguma medida preestabelecida. Uma rede neural aprende acerca do seu ambiente através de um processo interativo de ajustes aplicados e seus pesos sinápticos; a rede se torna mais instruída sobre o seu ambiente após cada interação do processo de aprendizagem. HAYAKIN, 2007.

OLIVEIRA, 2011; com a quantificação da madeira produzida por tipo de utilização industrial, o produtor pode manejar suas florestas para a produção de madeira direcionada ao uso mais rentável.

Afirma MIGUEL et al, 2014; o volume de madeira de um povoamento é uma das variáveis fundamentais no planejamento florestal, sendo imprescindível para a implementação de planos de manejo sustentável das florestas. Neste contexto o Inventário Florestal torna-se uma ferramenta insubstituível. Geralmente, ao realizar um inventário florestal com objetivo de quantificar o volume sólido de um

povoamento, as equações de volume são fundamentais, por isso, vários modelos matemáticos foram desenvolvidos com essa finalidade.

Todavia, GODOY, 2012; a produção de celulose demanda grandes áreas de florestas plantadas, e o uso intensivo de madeira gera grande quantidade de resíduos, como casca e copas de árvores, que são inadequados para a produção de polpa de alta qualidade no processo Kraft. Esses resíduos vêm sendo utilizados nos últimos anos como fonte de energia, onde são queimados em caldeiras na forma de cavacos para a produção de vapor, que alimenta turbo-geradores para a produção de eletricidade.

No entanto, o emprego de equações volumétricas constitui uma das principais ferramentas para quantificação da produção de povoamentos florestais, sendo base para o manejo sustentável de plantações florestais. O volume de árvores cubadas rigorosamente é correlacionado com variáveis de fácil mensuração do povoamento, como altura total e diâmetro a 1,30 m do solo (DAP), SILVA et al, 2009.

2. METODOLOGIA

Para CORRÊA et al, 2018; nas últimas décadas, as pesquisas em manejo de florestas foram realizadas no sentido de tentar minimizar a produção de resíduos, aumento da produtividade e menor impacto a vegetação remanescente.

A pesquisa foi embasada em fontes de livro e internet como referencial teórico, utilizando livro e artigos científicos que dispuseram às informações referente ao tema do embasamento do trabalho;

O simulador apresentado e utilizado para obtenção de dados e para estruturação dos arranjos da rede neural que está em construção e será modelada a partir dos valores de saída para volume de eucalyptus gerados pelo mesmo; está disponibilizado para download na página do site da EMBRAPA de acordo com o seguinte endereço virtual: <http://www.cnpf.embrapa.br/software/>.

3. DESENVOLVIMENTO

Segundo MIGUEL et al, 2012 a qualidade de sítio é definida como a capacidade que uma área tem para o crescimento de árvores. É a resposta, em desenvolvimento, de uma determinada espécie à totalidade das condições ambientais (edáficas, climáticas e bióticas) existentes em um determinado lugar. O conhecimento da qualidade do sítio é de fundamental importância para eleger os melhores sítios, para o plantio da espécie apropriada no lugar adequado e para mudar as características do sítio.

O fato é que ao longo dos anos as empresas acumulam grande quantidade de dados de cubagem, incluindo árvores com diferentes características e variações de forma. Esses dados podem ser utilizados para implementar um projeto de redes neurais cujo objetivo final é a estimativa do volume de árvores sem o uso de equações volumétricas e de dados específicos de cubagem, GÖRGENS, 2006.

De acordo com o Serviço Florestal Brasileiro, 2010; Manejo Florestal Sustentável é a administração da floresta para obtenção de benefícios econômicos, sociais e ambientais, respeitando-se os mecanismos de sustentação do ecossistema objeto do manejo e considerando-se, cumulativa ou alternativamente, a utilização de múltiplas espécies madeireiras, de múltiplos produtos e subprodutos não-madeireiros, bem como a utilização de outros bens e serviços florestais.

3.1 ASPECTOS FLORESTAIS

3.1.1 Povoamento Florestal

Um conjunto bem delimitado de plantas arbóreas plantadas numa determinada área; refere-se a uma associação de árvores em: uma "dada" área para produção de produtos florestais. Sinônimos: maciço florestal, talhão florestal. FERREIRA et al, 2008.

Atualmente, a escolha do espaçamento não é orientada somente no sentido de se obter maior volume de madeira por área. A qualidade da madeira obtida, é um fator que pode sofrer a influência do espaçamento, e, portanto, nortear a sua escolha. Tanto as dimensões individuais das árvores como o volume obtido por área, são fatores fortemente influenciados pelo espaçamento. Em espaçamentos menores, o volume total de madeira é maior do que em espaçamentos mais abertos. Por outro lado, nos espaçamentos maiores, os diâmetros individuais sofrem um crescimento maior. BALLONI et al, 1979.

3.1.2 Inventário Florestal

Quantificar o volume ou biomassa de madeira existente em uma determinada área com adequada precisão e a custos compatíveis.

- Unidade amostral mais utilizada em levantamentos florestais;
- Forma e tamanho variam em função do tipo de floresta;
- Levantamentos visando estimar o volume/biomassa de madeira utilizam um grande número de pequenas parcelas.
- Florestas plantadas: se usa parcelas de 400 a 600 m²;
- Formato: Retangular ou Circular (MOREIRA et al, 2014).

Segundo ANDRADE et al, 2002; consiste em medir o diâmetro de todas as árvores, a altura de cerca de 15 árvores e a altura de cerca de cinco árvores dominantes por parcela. Para processamento desses dados são utilizadas equações hipsométricas e volumétricas, sendo estas últimas geradas com dados de cubagem de árvores no povoamento.

3.1.3 Sortimento

Para MONTES et al, 2015; o padrão de corte, ou padrão de sortimento, é a sequência de produtos (toras) que podem ser obtidos a partir de um determinado fuste, podendo ser iguais ou diferentes entre si. Pesquisas em busca por soluções ótimas de sortimento, perante uma explosão combinatória com diversas alternativas, fazem parte de uma categoria específica de problemas conhecida como Problema de Corte e Empacotamento (PCE).

3.2 SIMULADOR DE POVOAMENTO FLORESTAL VIA INTERFACE SIS

Segundo a EMBRAPA, 2018; O objetivo é orientar o produtor rural com tecnologias adequadas para o manejo e planejamento do componente florestal do sistema Integração Lavoura-Pecuária-Floresta - ILPF, fornecendo informações que permitam otimizar a produção e aumentar a renda.

Figura 01 - Software para manejos de precisão e análise econômica de plantações florestais



Fonte: adaptado de Oliveira (Manual de Softwares para manejo de precisão e análise econômica de plantações florestais, 2011).

3.3 SISILPF_EUCALIPTO - SOFTWARE PARA MANEJO DO COMPONENTE FLORESTAL DE ILPF – EUCALIPTO EMBRAPA

Para operacionalizar os simuladores “Sis”, o usuário fornece os dados de inventário da floresta e os softwares preveem o crescimento e produção, indicando o quanto de madeira a floresta produz, em qualquer idade. Eles possibilitam simular desbastes e testar qualquer regime de manejo que se deseja aplicar nos povoamentos, OLIVEIRA, 2011.

O sistema indica: o crescimento e produção da floresta; a produção por classes de diâmetro; e o volume de madeira por tipo de utilização industrial. O software permite calcular a biomassa e o carbono das árvores (equivalentes em CO₂ e Metano), para as espécies de Eucalyptus.

3.4 EQUAÇÕES UTILIZADAS DO SIMULADOR

3.4.1 Equação de Sítio - A Partir de 7 Anos

Extraída do software de simulação SIS do trabalho de OLIVEIRA, 2011:

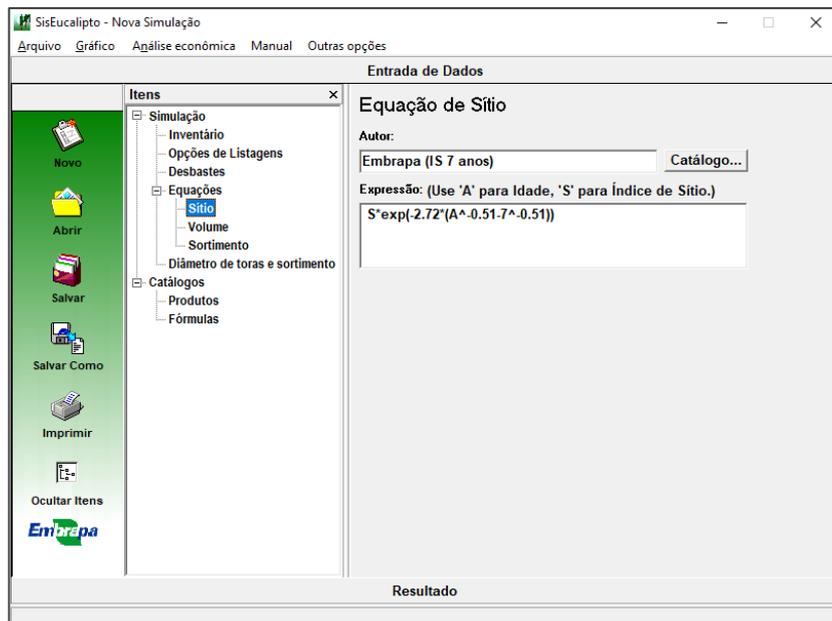
$$S * \exp(-2.72 * (A^{-0.51} - 7^{-0.51}))$$

Onde;

A = Idade;

S= número de sítios;

Figura 2 – Janela do simulador para opções de cálculo de volume pelo simulador para Eucalyptus Urograndis.



Fonte: adaptado de Oliveira (Manual de Softwares para manejo de precisão e análise econômica de plantações florestais, 2011).

3.4.2 Equação de Volume

Extraída do software de simulação SIS do trabalho de OLIVEIRA, 2011:

$$V = 7.854E-5 * D^2 * 0.39 * H$$

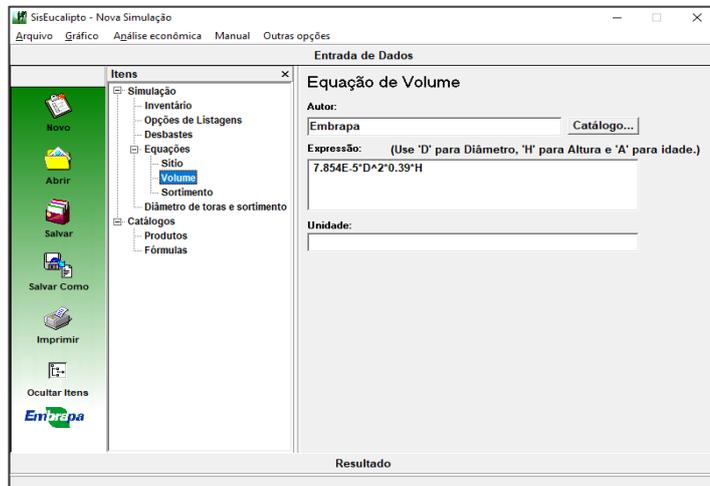
Onde;

D = Diâmetro;

H = Altura;

V = Volume

Figura 3 – Janela do simulador para opções de cálculo de volume pelo simulador para Eucalyptus Urograndis.



Fonte: adaptado de Oliveira (Manual de Softwares para manejo de precisão e análise econômica de plantações florestais, 2011).

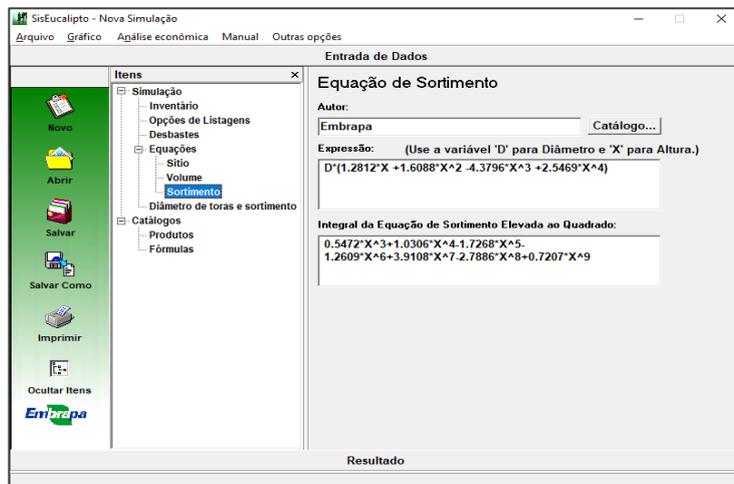
3.4.3 Equação de Sortimento.

Extraída do software de simulação SIS do trabalho de OLIVEIRA, 2011:
 $D*(1.2812*X + 1.6088*X^2 - 4.3796*X^3 + 2.5469*X^4)$

Utilizando a Integração da Equação do Sortimento elevada ao quadrado:
 $0.5472*X^3 + 1.0306*X^4 - 1.7268*X^5 - 1.2609*X^6 + 3.9108*X^7 - 2.7886*X^8 + 0.7207*X^9$

Onde;
D = Diâmetro;
X= Altura;

Figura 4 – Janela do simulador para opções de cálculo de volume pelo simulador para Eucalyptus Urograndis.



Fonte: adaptado de Oliveira (Manual de Softwares para manejo de precisão e análise econômica de plantações florestais, 2011).

3.5 CONSIDERAÇÕES APLICADAS AO SIMULADOR

A simulação gerada com precisão pelo simulador atribui outras opções voltadas ao manejo florestal; isto é, não se limita apenas a dedução de obtenção volumétrica em um hectare;

Dependente de dados obtidos em um sitio;

Contemplado com planilhas que incorporam métodos de análise econômica para possibilitar a visão conjunta de variáveis biológicas e econômicas, permitindo uma rápida configuração de cenários para o planejamento da produção florestal com otimização da produção madeireira e dos retornos financeiros.

3.5.1 SOFTWARE PLANIN

O Planin possibilita o cálculo dos parâmetros de avaliação econômico-financeira e a análise de sensibilidade da rentabilidade a diferentes taxas de atratividade. Ele considera os diversos segmentos de custos operacionais de implantação, manutenção e exploração florestal. Como resultado, fornece fluxos de caixa, análise de sensibilidade e critérios de análise econômico-financeira mais utilizados. Além disso, permite que o usuário acompanhe seus custos, emitindo relatórios com gastos anuais. OLIVEIRA, 2011.

3.6 REDE NEURAL ARTIFICIAL

SEGUNDO SILVA et al, 2009; a obtenção da arquitetura adequada da rede neural depende de inúmeras tentativas, a fim de gerar resultados satisfatórios, uma vez que esse processo é aleatório, ou seja, o número de neurônios por camadas não se baseia em nenhum critério, apenas em tentativa. Assim, os resultados deste trabalho servem como ponto de partida para pesquisas posteriores.

4. CONCLUSÃO

Conclui-se que a utilização do simulador para determinação de volume de árvores em um hectare é viavelmente aplicável quanto a redução de custo, redução de tempo de resposta e precisão. Pois, segundo os dados disposto pela EMBRAPA quando entrado com os valores de dados, o simulador irá processa-los, o resultado de saída fornecido pelo simulador é estipulado com uma alta precisão. Minimizando assim esse impacto ambiental e econômico enfrentado em alguns setores florestais devido ao abate de arvores para mensurações.

Seu uso gera redução de custo em manejos florestais e resíduos arbóreos; torna-se mais atrativo a sua aquisição quanto a minimização de impactos e degradação ambiental.

A partir dos dados gerados pelo simulados, será modelada uma rede neural artificial a fim de estimar um valor para determinação de volumes de uma população de Eucalyptus Urograndis mais próximo da realidade.

5. AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao orientador Harrison Andretta de Moraes e ao coordenador Osvaldo Vieira, nos orientando da maneira devida;

Ao senhor Edilson Bueno da EMBRAPA, por disponibilizar as imagens para a inclusão das fotos do software SisEucalipto que utilizamos e pelos retornos dos e-mails aos quais ele se dispôs em atender.

6. REFERÊNCIAS

ANDRADE, V. C. L de; LEITE, H. G. **Um método para condução de inventários florestais sem o uso de equações volumétricas**. Revista *Árvore*, Viçosa-MG, v.26, n.3, p.321-328, 2002. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v26n3/a07v26n3>>. Acesso em 13 set. 2018.

BALLONI, E. A.; SIMÕES, J. W. **Implantação de povoamentos florestais com espécies do gênero eucalyptus**. Instituto de Pesquisa Florestais, 1979. Disponível em <<http://www.ipef.br/publicacoes/ctecnica/nr060.pdf>>. Acesso em 13 set. 2018.

CAMPOS, O. Joaquim de. **Cubagem de Árvores**. 2014. Disponível em <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/123279/327161.pdf?sequence=1>>. Acesso em 04 set. 2018.

CUNHA, U. S. da. **Dendrometria e Inventário Florestal**: Manaus, 2004. Disponível em <<https://engenhariaflorestal.jatai.ufg.br/up/284/o/dendroinv.pdf>>. Acesso em 05 set. 2018.

ENCINAS, J. I.-.; SANTANA, O. A.; PAULA, J. E. de; IMANÃ; C. R. **Equações de Volume de madeira para o cerrado de Planaltina de Goiás**. 2008. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/13731>>. Acesso em 04 set. 2008.

FERNEDA, E. **Redes neurais e sua aplicação em sistemas de recuperação de informação**. 2006. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/ci/v35n1/v35n1a03.pdf>>. Acesso em 05 set. 2018.

FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. da. **Formação de povoamentos florestais**. 2008.

Disponível em

<http://www.univale.br/sites/biblioteca/biblioteca_online_agronegocio/livrosbiblioteca/6/Forma%C3%A7%C3%A3o%20de%20povoamentos%20florestais.pdf>. Acesso em 12 set. 2018.

GODOY, R. **Simulação da cinética reacional de um gaseificador de biomassa de leito fluidizado para a produção de hidrogênio**. 2012. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Faculdade de Telêmaco Borba. Disponível em <Biblioteca FATEB, T-766>. Acesso em 06 set. 2018.

GÖRGENS, E. B. **Estimação do volume de árvores utilizando redes neurais artificiais**. Revista *Árvore*, Viçosa-MG, v.33, n.6, p.1141-1147, 2009. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v33n6/a16v33n6.pdf>>. Acesso em 03 set. 2018.

HAYAKIN, S. **Redes neurais princípios e práticas: 2ª edição** BOOKMAN Companhia Editora, 2007. Disponível em <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=bhMwDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=REDE+NEURAL+DEFINI%C3%87%C3%83O&ots=07spGNLTIp&sig=Sg6StHj5_OydqZ99urzh2zmGnso#v=onepage&q&f=false>. Acesso em 13 set. 2018.

KRÜGER, E. L.; ADRIAZOLA, M. K.O.; SUZUKI, E. V. **Medições de fluxo de calor em painéis de madeira empregados em protótipos para vedação de parede**. XII Encontro Nacional de Tecnologia do ambiente construído. 2008. Disponível em <<http://www.infohab.org.br/entac2014/2008/artigos/A2384.pdf>>. Acesso em 06 set. 2018.

LIMA, G. C. P. **Comparação De Diferentes Métodos De Cubagem De Madeira De Povoamento de Pinus Taeda L. Na Região Serrana De Santa Catarina**. 2015. Disponível em <http://www.cav.udesc.br/arquivos/id_submenu/663/dissertacao_gean_carlos_paia_li_ma_final.pdf>. Acesso em 06 set. 2018

MIGUEL, E. P.; LEAL, F. A.; ONO, H. A.; LEAL, U. A. S. **Modelagem na predição do volume individual de eucalyptus Urugrandis**. Rev. Bras. Biom., São Paulo, v.32, n.4, p.584-598, 2014. Disponível em <http://jaguar.fcav.unesp.br/RME/fasciculos/v32/v32_n4/A8_EderFabricio.pdf>. Acesso em 06 set. 2018.

MONTES, D. P.; SILVA, R. F.; SILVA, G. F. da. **Calibração de uma heurística de construção por partes para otimizar o sortimento florestal em plantios de pinus Taeda L**. 2015. Disponível em <<http://cdsid.org.br/sbpo2015/wp-content/uploads/2015/08/142771.pdf>>. Acesso em 13, set. 2018.

MOREIRA, A. B.; ARIKAWA, E.; CASTRO, T. N. de. **Inventário florestal: Minicurso**. 2014. Disponível em <http://www.ipef.br/eventos/2014/tume/23_minicurso_inventario.pdf>. Acesso em 13 set. 2018.

OLIVEIRA, R. Z. G. de; GARCIA, C. **Sobre Métodos de Obtenção Do Volume de Toras De Madeira:** Revista do Professor de Matemática nº 83, 2012. Disponível em <<http://rpm.org.br/rpm/img/conteudo/files/RPM%20%2083%20-%20Sobre%20metdos%20de%20obteno%20do%20volume%20de%20toras%20de%20madeira.pdf>>. Acesso em 06 set. 2018.

OLIVEIRA, E. B. de. **Software para manejo e análise econômica de plantios florestais.** Manual, 2011. Disponível em <<https://www.embrapa.br/documents/1355099/4987097/SIS+-+Manual+Português/2d42beaa-29d3-4941-83f6-18d8fdd951fb>>. Acesso em 06 set. 2018.

Serviço Florestal Brasileiro. 2010. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/florestas/manejo-florestal-sustentavel>>. Acesso em 06 set. 2018.

SILVA, J. P. M.; LEITE, M. V. S.; SOUZA, D. C.; CABACINHA, C. D.; ASSIS, A. L. de. **Redes neurais artificiais para estimar volume comercial e total de Eucalyptus spp.** IV Semana de Engenharia Florestal da Bahia – Perspectiva das florestas brasileiras. 2006. Disponível em <<http://www.uesb.br/eventos/seeflor/publicacoes/2016/REDES%20NEURAIIS%20ARTIFICIAIS%20PARA%20ESTIMAR%20VOLUME%20COMERCIAL%20E%20TOTAL%20DE%20Eucalyptus%20spp.pdf>>. Acesso em 09 set. 2018.

SILVA, M. L. M. da; BINOTI, D. H. B; GLERIANI, J. M.; LEITE, J. L. **Ajuste do modelo de Shumacher e Hall e aplicação de redes neurais e artificiais para estimar volume de arvore de eucalipto.** Revista Árvore, Viçosa-MG, v.33, n.6, p.1133-1139, 2009. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/html/488/48815855015/>>. Acesso em 12 set. 2018.

EXTRAÇÃO DO ÓLEO DA BORRA DE CAFÉ COM ETANOL



Julio Marcos Gomes Ribeiro¹ Thomas Ricardo Wolski¹ Fernanda de Oliveira² Flávia Sayuri Arakawa³ Maicon Ramon Bueno⁴

RESUMO

Em decorrência da enorme preocupação ambiental de reutilização de resíduos e a preocupação ambiental em relação às fontes não renováveis, como os combustíveis fósseis, este estudo teve como objetivo a reutilização da borra de café para obtenção de óleo e potencial aplicação como biocombustível e óleo essencial. O Brasil é o maior produtor de café e maior consumidor. O café mesmo não sendo considerado um grão oleaginoso, contém um teor de óleo fixo e essencial que pode ser extraído e aproveitado. A extração do óleo da borra de café foi realizada pelo método a frio utilizando como solvente o etanol, este além de proporcionar um maior rendimento no processo de obtenção do óleo apresenta vantagens por ser um solvente renovável e não tóxico. Foram preparadas diferentes amostras de massa da borra de café e etanol (3:1) (m/v) para extração do óleo pelo método a frio e posteriormente submetido ao processo de destilação para obtenção do teor de óleo. Os teores de óleo extraído da borra de café alcançaram valores entre 7,76% a 10,98%. Os resultados foram significativos, verificando a possibilidade de pesquisas na área para obtenção de biocombustível ou óleos essenciais, substituindo parcial ou totalmente o óleo derivado dos combustíveis fósseis. Um estudo para a produção do biocombustível e óleo essencial a partir do óleo extraído da borra de café contempla esta pesquisa e será apresentada futuramente, sendo necessário uma análise detalhada das reações para produção do biocombustível como a reação de transesterificação, índices de acidez e teor de ácidos graxos livres.

Palavras-chave: Extração; Etanol; Óleo da borra de café; Sustentabilidade.

ABSTRACT

As a result of the enormous environmental concern of waste reuse and the environmental concern regarding non-renewable sources, such as fossil fuels, this study aimed to reuse the coffee grounds to obtain oil and potential application as biofuel and essential oil. Brazil is the largest producer and consumer of coffee. Coffee, although not considered an oleaginous grainoil, contains a fixed and essential oil content that can be extracted and availed. The extraction of the oil from the coffee grounds was carried out by the cold method using ethanol as the solvent,

¹Acadêmicos do curso de Engenharia Química da FATEB – e-mail: <julio.marcos7@outlook.com>; <thomas.wolski@outlook.com.br>.

²Mestranda em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal Tecnológica do Paraná e Professora da FATEB – e-mail <fernandadeoliveira@ymail.com >.

³Doutora em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá e Professora da FATEB – e-mail <flaviasayuri@gmail.com>.

⁴Mestre em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá e Professor da FATEB – e-mail <mramonbueno@hotmail.com>.

this in addition to providing a higher yield in the oil production process has advantages as a renewable and non-toxic solvent. Different mass samples of coffee grounds and ethanol (3: 1) (m / v) were prepared for extraction the oil by cold method and then submitted to distillation process to obtain the oil content. The oil contents extracted from the coffee grounds reached values ranging from 7.76% to 10.98%. The results were significant, verifying the possibility of research in the area to obtain biofuel or essential oils, replacing partially or totally the oil derived from fossil fuels. A study to production biofuel and essential oil from the oil extracted from the coffee grounds contemplates this research and will be presented in future, being necessary a detailed analysis of the reactions for biofuel production as the transesterification reaction, acidity indexes and free fatty acids content.

Keywords: Extraction; Ethanol; Oil of coffee grounds; Sustainability.

1. INTRODUÇÃO

Para Goldemberg et al. (2009) as energias renováveis como a eólica, solar, biomassa e centrais hidrelétricas de pequeno porte terão um grande papel a desempenhar. Estas fontes de energia são menos poluentes e pela sua própria natureza podem ser produzidas em pequenas unidades (DO VALLE et al., 2017; BORGES et al., 2017).

O Brasil é considerado o segundo maior consumidor de café mundial (20,1 milhões de sacas/ano) e o mercado americano, o primeiro. Além disso, o setor cafeeiro possui importante participação no agronegócio brasileiro. Na safra 2013/2014, o país produziu 54,5 milhões de sacas, o que lhe garante a primeira posição no ranking de maiores produtores mundiais de café (FOSCACHES et al., 2016; TERCEIRO, 2017; CONCEIÇÃO et al., 2017).

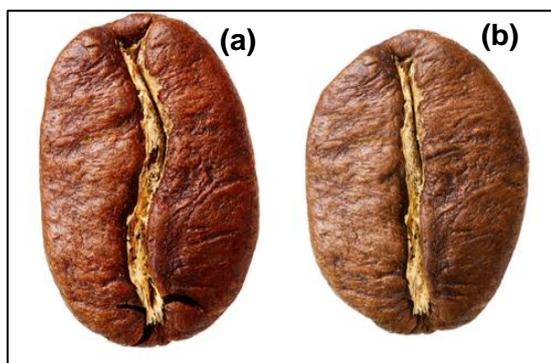
Brito (2013) estima que a produção mundial de café supere 85 milhões de toneladas anuais, originando considerável quantidade do resíduo proveniente da elaboração da bebida, conhecido como borra de café. Considerando sua alta disponibilidade e o fato de que o emprego in natura deste resíduo tem sido pouco praticado no meio agrícola, tem-se a oportunidade de, além de transformá-lo numa opção agrícola sustentável, diminuir o seu descarte e a poluição ambiental ocasionada pelo mesmo (BARRETO e ZUGAIB, 2017; CRUZ et al., 2017).

Atualmente, os resíduos gerados pelo café não apresentam aplicação tecnológica na indústria podendo ser queimado nas caldeiras para geração de vapor ou repassado para a agricultura que a utiliza como adubo orgânico (AZEVEDO, 2007; BAQUETA et al., 2017; DURÁN et al., 2017).

A composição química da bebida oriunda do café é bastante variável e largamente dependente das suas espécies. Das espécies mais comuns tem-se a *Coffea arábica* que representa cerca de 70 % da produção mundial e a *Coffea canephora* que representa aproximadamente 25 %. Estas duas espécies diferem entre si pelas suas características organolépticas, físicas e químicas (ALVES, 2009). A espécie *Coffea canephora* é conhecida internacionalmente como café robusta e quase toda a espécie cultivada no Brasil pertence à variedade conilon. Portanto, os termos robusta e conilon são utilizados como sinônimos (BRASIL, 2011; RONCHI, 2011; CALDEIRA, 2015).

Na Figura 1 é possível observar as diferenças físicas entre as espécies do café arábica e robusta.

Figura 1 – Diferenças físicas entre os grãos do café (a) arábica e (b) robusta



Fonte: Relvas (2016)

Segundo Santos (2010) mesmo não sendo uma oleaginosa, o grão de café torrado contém aproximadamente 10 a 15 % de ácidos graxos saturados e insaturados, conforme observado na Tabela 1 (XAVIER et al., 2017).

Tabela 1 – Principais fontes vegetais oleaginosas

Fonte de Óleo	Teor de Óleo (%)
Copra	66-68
Babaçu	60-65
Gergelim	50-55
Polpa de palma (dendê)	45-50
Caroço de palma	45-50
Amendoim	45-50
Colza (canola)	40-45
Girassol	35-45
Açafrão	30-35
Oliva	25-30
Algodão	18-20
Soja	18-20
Café cru arábica	15
Café cru robusta	10

Fonte: Adaptado de Santos (2010); Rodrigues et al. (2016); Xavier et al. (2017)

Da espécie *Coffea arábica* existe algumas variações que foram estudadas anteriormente por vários autores. Mazzafera et al. (1998) analisou três variedades desta espécie e determinou o teor de óleo, os resultados são apresentados na Tabela 2, sendo que a variação percentual entre as espécies estudadas não apresenta variação significativa (SILVA et al., 2015).

Tabela 2 – Teor de óleo para variações da espécie arábica,

Coffea arábica	Teor de óleo (%)
Bourbon Vermelho	13,33 ± 0,31
Mundo Novo	13,96 ± 2,56
Nacional	11,98 ± 1,39

Fonte: Adaptado de Mazzafera et al. (1998) e Souza et al. (2016)

O café é rico em óleos sendo que a variedade arábica pode conter de 12 a 18% e a variedade robusta de 9 a 14%. A maior parte desses óleos é constituída por ácido palmítico (34,5 %) e linoleico (40,3 %) (MATOS et al., 2010; MAGGIOLI, 2014).

A composição de ácidos graxos dos lipídios do café é similar ao dos óleos vegetais, provenientes de grãos de plantas oleaginosas como de soja, mamona, amendoim, dendê e entre outros, que são as fontes mais comuns de triglicerídeos. Os triglicerídeos são considerados opção viável e interessante como fonte renovável de energia com potencial para substituir parcial ou totalmente o óleo diesel derivado de petróleo (SANTOS, 2010). Na Tabela 3 é um comparativo da composição de ácidos graxos do café cru e do café torrado.

Tabela 3 – Composição de ácidos graxos do café

Ácidos Graxos	Saturados		Insaturados		
	Palmítico	Estearico	Oleico	Linoleico	Linolênico
Café Cru	34%	9%	10%	40%	1%
Café Torrado	35%	9%	10%	41%	1%

Fonte: Santos (2010) e Souza et al. (2016)

De acordo com Turatti (2001) a composição do óleo de café cru e torrado (Tabela 3) não há diferenças significativas e indica que o processo de torrefação não exerce influência na composição do óleo. Em ambas as amostras o ácido insaturado predominante é o ácido linoléico (aproximadamente 40%) e o ácido graxo saturado predominante é o ácido palmítico (aproximadamente 34%). A composição do óleo presente no café é um material bastante rico em matéria insaponificável, devido a composição dos ácidos graxos (SPERETA, 2013).

Segundo Ramalho e Suarez (2013) nos óleos e gorduras, os ácidos graxos podem ser encontrados livres ou preferencialmente combinados. Na forma combinada, seus derivados são normalmente encontrados como monoacilglicerídeos, diacilglicerídeos e triacilglicerídeos, sendo os principais compostos dos óleos e gorduras.

Segundo Santos (2010) os triglicerídeos têm sido considerados uma opção viável e interessante como fonte renovável de energia com potencial para substituir parcial ou totalmente o óleo diesel derivado do petróleo. As fontes mais comuns de triglicerídeos incluem óleos vegetais tais como soja, dendê, girassol, amendoim, mamona entre outros, e gorduras animais como o sebo bovino.

O biodiesel diferentemente do diesel, de origem fóssil, é uma fonte de energia renovável e tem se destacado nas crescentes pesquisas da área. O uso de biodiesel reduz as emissões do monóxido de carbono (CO), do material particulado (MP), dos óxidos de enxofre (SOx), dos hidrocarbonetos totais (HC) e de grande

parte dos hidrocarbonetos tóxicos (BARROS et al., 2013; BORGES et al., 2016).

Neste contexto, pode-se envolver a questão ambiental e a questão energética a partir da extração do óleo essencial existente na borra de café que contém cerca de 9 a 11% de ácidos graxos saturados e insaturados com potencial utilização na produção de biodiesel (SANTOS, 2010; MOURA, 2016).

A eficiência de extração do óleo depende do método empregado e para um mesmo método, deve-se observar o tipo de solvente ou a composição da mistura quando se utiliza mais de um solvente. Além de outras condições que incluem fatores como temperatura, tempo de agitação, utilização de acessórios/equipamentos, catalisadores da extração, dentre outros (BARROS et al., 2015). Dentre os métodos de extração mais utilizados independentemente da sua matriz estão os solventes (etanol ou hexano) onde duas fases estão em contato direto e o soluto pode se difundir de uma fase sólida ou líquida para outra fase líquida (BARROS et al., 2015). De acordo com Freitas et al. (2000) o uso de etanol para substituir os solventes derivados de petróleo na extração do óleo de café é tecnicamente viável.

O presente estudo teve como objetivo a extração do óleo do resíduo da borra de café utilizando o método a frio com etanol para potencial aplicação como biocombustível.

2. METODOLOGIA

2.1 Preparação do Resíduo da Borra de Café

No presente estudo, foram utilizados os resíduos provenientes de uma única marca comercial de café (Damasco®) para garantir uniformidade e reprodutibilidade nos resultados. As borras de café foram coletadas e armazenadas sob refrigeração até atingir uma massa de aproximadamente 1000 g.

A borra de café úmida foi seca em estufa (Spencer Scientific, modelo I0031) a temperatura de 100 °C até atingir uma massa constante. As análises do teor de umidade foram realizadas em uma balança semi analítica (Marte, modelo AY220) verificando a diferença da massa inicial da borra de café úmida e a massa da borra de café seca. O período para que a borra de café atingisse a massa constante foi de aproximadamente 48 h.

Os aglomerados da borra de café após secagem foram desagregados (Figura 2) com auxílio de um pistilo, a fim de aumentar a área superficial entre o pó do café e o solvente e facilitar o processo impregnação e extração. Após o processo de secagem e desagregação, levou-se a borra de café para um dessecador até atingir a temperatura ambiente.

Figura 2 – Resíduo da borra de café. (a) borra de café úmida e (b) borra de café após desagregação



2.2 Método de Extração a Frio com Solvente Etanol

Para a extração do óleo da borra de café foi utilizado o método de extração a frio com o solvente o etanol PA-ACS 99,8% (Synth). O solvente etanol foi utilizado devido a sua baixa toxicidade e disponibilidade comparado ao solvente hexano.

A metodologia foi realizada conforme descrito por Barros et al. (2015). Foram preparadas três amostras com diferentes massas do resíduo da borra de café e de solvente etanol (1:3) (m/v) conforme mostrado na Tabela 4.

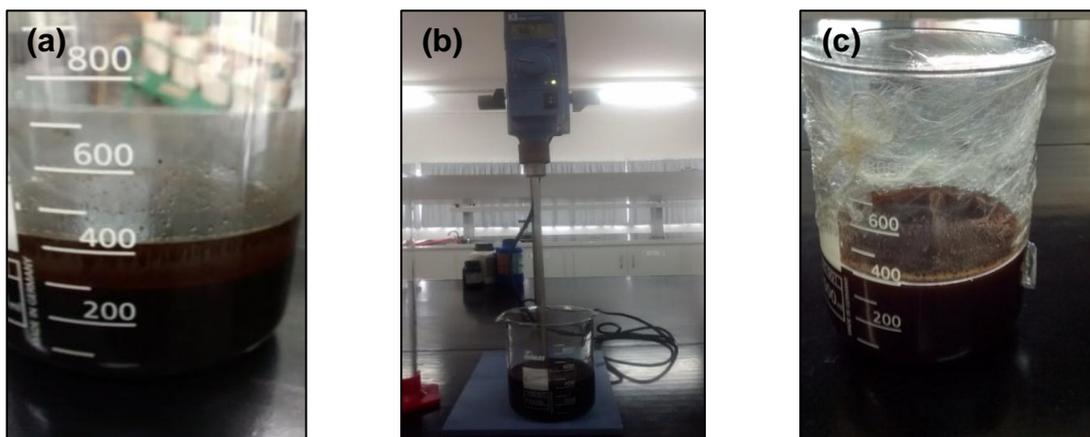
Tabela 04 – Amostras do resíduo da borra de café e solvente etanol

Amostra (g/mL)	Borra de café seca (g)	Etanol (mL)
A (1:3)	100	300
A (2:6)	200	600
A (4:12)	400	1200

Fonte: Autores (2018)

As amostras (resíduo da borra de café e solvente etanol) (Figura 3(a)) foram homogeneizadas separadamente utilizando um agitador mecânico (IKA Eurostar Digital) com rotação de 400 rpm durante período de 30 min (Figura 3(b)), conforme metodologia descrita por Souza et al. (2016). Após a etapa de homogeneização, as amostras foram cobertas com plástico filme (Figura 3(c)) para evitar a evaporação devido à volatilidade do etanol. As amostras permaneceram em repouso por 24 h a temperatura ambiente para garantir uma maior extração do óleo da borra de café, sendo que a maior interação molecular e migração do óleo da borra do café para o solvente (etanol) é devido as suas características apolares.

Figura 3 – (a) Amostra do resíduo da borra de café e etanol, (b) homogeneização das amostras com agitador mecânico e (c) amostra em repouso



Fonte: Autores, 2018

2.3 Método de Separação do Óleo Extraído da Borra de Café

Decorrido o período de 24 h da extração a frio, as amostras foram filtradas utilizando uma bomba a vácuo (Tecnal, modelo TE-058) com conjunto acoplado ao kitassato e papel filtro, para retenção do material sólido.

Cada amostra (mistura álcool/óleo) foi transferida para um balão volumétrico

(500 mL) e submetidas ao processo de destilação em um rotaevaporador (Tecnal, modelo TE-211) conforme mostrado na Figura 4.

Figura 4 – Equipamento Rotaevaporador

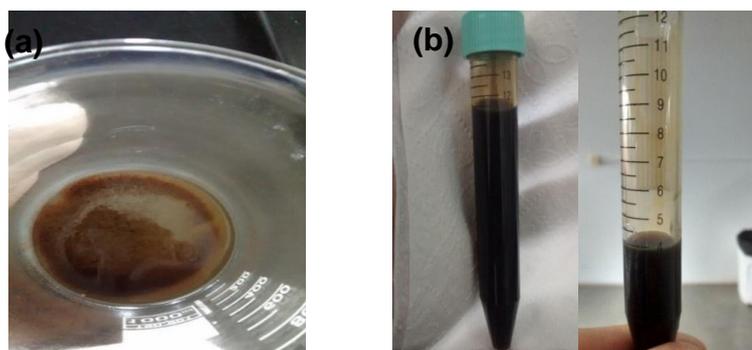


Fonte: Autores (2018)

O processo de destilação de cada amostra ocorreu durante $t = 5$ h, iniciando a $T=45^{\circ}\text{C}$ aumentando gradativamente até $T=80^{\circ}\text{C}$, para garantir a evaporação do etanol e não ocorrer degradação do óleo extraído da borra de café. A pressão utilizada no processo iniciou em $P=200$ mmHg aumentando gradativamente até $P=500$ mmHg, para auxiliar no processo de destilação. Posteriormente, cada amostra foi filtrada com papel filtro (Figura 5(b)) para retirada de possíveis resíduos da borra de café remanescentes que foram arrastados durante a destilação (Figura 5(a)). As amostras de óleo foram submetidas ao processo de secagem em estufa a $T=105^{\circ}\text{C}$ para evaporar o residual de etanol por um período de $t= 24$ h e posteriormente levadas a um dessecador, até estabilizar em temperatura ambiente.

Para cada amostra de óleo, foram analisados os volumes e as massas de óleo extraído e calculado as respectivas densidades relativas (m/v). No presente estudo, foram realizadas extrações de óleo em duplicata para a amostra A(1:3) , em quadruplicata para a amostra A(2:6) e para a amostra A(4:12) realizado somente uma vez, devido a massa do resíduo de borra de café preparada anteriormente não ser suficiente para realizar a extração.

Figura 5 – Amostras de óleo após a destilação. (a) Bécker com residual de borra de café antes da filtração. (b) Amostra de óleo após filtração



Fonte: Autores (2018)

3. DESENVOLVIMENTO

Na Tabela 5 estão mostrados os resultados obtidos em cada amostra: massa da borra de café seca, massa da borra de café e massa de óleo obtidos após extração pelo método a frio com solvente etanol, a massa de óleo extraído após destilação em rotaevaporador, o volume de óleo obtido após a filtração e a densidade relativa.

Tabela 5 – Quantitativo das análises da borra de café e do óleo obtido em cada processo para as amostras A(1:3), A(2:6) e A(4:12)

Amostra	Borra de café seca (g)	Borra de café após extração a frio do óleo (g)	Extração de óleo (g)	Teor de óleo extraído após destilação (%)	Óleo após filtração (mL)	Densidade (g/mL)
A(1:3)	100	88,13	11,86	11,86	12,0	0,98
A(1:3)	100	90,01	11,65	10,10	12,0	0,97
A(2:6)	200	181,77	18,22	9,11	21,0	0,86
A(2:6)	200	183,59	16,40	8,20	18,5	0,88
A(2:6)	200	184,14	15,85	7,92	18,0	0,88
A(2:6)	200	185,53	14,46	7,23	16,0	0,90
A(4:12)	400	368,93	31,06	7,76	34,0	0,91

Fonte: Autores (2018)

Na Tabela 5, observa-se que o valor médio obtido do teor de óleo foi de 10,98% para 100 g de borra de café seca (A(1:3)), de 8,11% para 200 g de borra de café seca (A(2:6)) e de 7,76% para 400 g de borra de café seca (A(4:12)).

Comprando o teor de óleo extraído de cada amostra observa-se que no presente estudo, estes resultados encontrados foram inferiores ao reportado por Mazzafera et al. (1998) (Tabela 2) sendo que o teor de óleos para grãos do café arábica, em base seca é de aproximadamente 12%. Visto que, utilizou-se a borra de café e não os grãos do café in natura, e após o processo de torrefação do grão e posteriormente preparo do café para obtenção do resíduo, podem ter ocorrido perdas no teor de óleo e também perdas durante os experimentos.

De acordo com estudo reportado por Santos (2010) o teor de óleo obtido para uma massa de 100 g de borra de café foi de 8,9 a 11,6% e densidade de 0,89 g/mL, corroborando com os resultados obtidos neste estudo de 10,10 a 11,86% de teor de óleo e 0,97 a 0,98 g/mL. Contudo, para as amostras A(2:6) o teor de óleo obtido foi menor em relação ao obtido na amostra A(1:3), sendo entre 7,23 a 9,11%. Mesmo quando utilizou-se uma massa de 400 g de borra de café seca, amostra A(4:12), o teor de óleo extraído foi próximo sendo de 7,76%. Nota-se que o aumento da massa da borra de café não aumentou o teor de óleo, devido a proporção de massa/solvente (1;3) serem iguais.

Os teores de óleo das amostras obtidas a partir do método extração a frio com etanol foram próximos aos dados publicados por Freitas et.al (2000) e Ravidranath (1972) que variam entre 8 e 17%.

Os resultados mostrados no presente estudo, são uma continuidade de estudo anterior realizado por Souza et.al (2016) que analisaram a extração do óleo

da borra de café utilizando a mesma metodologia do método de extração a frio, porém utilizando como solvente, o hexano. O teor de óleo obtido com este solvente foi de 8,2% com massa de 300 g de borra de café para 300 mL de hexano, ou seja, para uma amostra similar analisada no presente estudo, A(1:3), os resultados obtidos de teor de óleo foi superior (10,10 a 11,86%).

Nota-se que para extração do óleo da borra de café pelo método a frio utilizando como solvente o etanol e o hexano, o etanol além de proporcionar um maior rendimento no processo de obtenção do óleo, apresenta vantagens por ser um solvente renovável, não tóxico e nem nocivo. O etanol sendo um álcool torna-se um composto reagente na reação de transesterificação, principal reação para a produção de biocombustível. Neste processo de produção de biocombustível com planta contínua, o etanol depois de utilizado na extração do óleo, pode ser recuperado e utilizado posteriormente na reação principal. (SANTOS, 2010). O solvente hexano tem como desvantagem ser proveniente de uma fonte não renovável de matéria-prima (hexano de petróleo) que além de trazer consigo alguns infortúnios como estar atrelado ao mercado do petróleo, é tóxico e altamente inflamável.

4. CONCLUSÃO

A extração do óleo da borra de café utilizando método a frio com etanol pode ser uma alternativa viável tecnicamente e ambientalmente, pois pode substituir solventes derivados de petróleo na extração do óleo de café. Além de ser uma alternativa de reutilização do resíduo, que é descartada diariamente. Com base nos resultados obtidos dos teores de óleo da borra de café (7,76% a 10,98%) que corroboram com a literatura, verifica-se a possibilidade de futuras aplicações, como a obtenção de biocombustível ou óleos essenciais. O estudo para a obtenção do biocombustível a partir do óleo da borra de café está em andamento e será apresentando em um estudo futuro, sendo necessária uma análise detalhada da reação de transesterificação, dos índices de acidez e teor de ácidos graxos livres.

REFERÊNCIAS

ALVES, R. C.; CASAL, S.; OLIVEIRA, B. **Benefícios do café na saúde: mito ou realidade**. Química Nova, vol. 32, p. 2169-2180, 2009.

AZEVEDO, A. S. B. **Caracterização e aplicação de fibra de borra de café modificada por tratamento com peróxido de hidrogênio alcalino**, 2009. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp041216.pdf>>. Acesso em 05 Ago. 2018.

BAQUETA, M. R., DO PRADO SILVA, J. T., MOREIRA, T. F. M., CANESIN, E. A., GONÇALVES, O. H., DOS SANTOS, A. R., ... & LEIMANN, F. V. **Extração e caracterização de compostos do resíduo vegetal casca de café**. Brazilian Journal of Food Research, v.8, p. 68-88, 2017.

BARRETO, R, C, S; ZUGAIB, A, C, C. **Dinâmica do mercado internacional de café e determinantes na formação de preços**. Economia & Região, v. 4, n. 2, p. 7-27, 2016.

BARROS, H. S.; MAIA, C. E. M.; SOUZA, Di S. **Extração do óleo presente na espuma de esgoto para uso na produção de biodiesel.** Química: Ciência, Tecnologia e Sociedade, v.2, 2013.

BARROS, H. S.; SOUZA, L. V.; SANTOS, A. P. B.; SOUZA, L. D.; SANTOS, A. G. D. **Extração do material lipídico presente na espuma e no lodo de esgoto sanitário através de diferentes métodos.** 2015. Disponível em <<http://www.redalyc.org/html/4815/481547289011/>>. Acesso em: 02 set. 2018.

BORGES, A. C. P., SILVA, M. S., ALVES, C. T., & TORRES, E.A. **Energias Renováveis: uma contextualização da biomassa como fonte de energia.** REDE-Revista Eletrônica do PRODEMA, v. 10, n. 2, 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Produção de café conilon.** Disponível em:<<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:ZrMKqYiKwckJ:softwaresistemas.com.br/agricultura/producao-de-cafe-conilon-de-qualidade/+sin%C3%B4nimos+conilon+e+robusta&hl=pt-BR&gl=br&strip=1>>. Acesso em: 05 de Jul. 2018.

BRITO, A. D. **Caracterização química de resíduo de café (borra) e seu efeito em cafeeiro orgânico adensado em plântulas de cafeeiro e tomateiro.** Disponível em <<http://repositorio.unb.br/handle/10482/13755>>. Acesso em: 02 de Set. 2018.

CALDEIRA, L.G. **Posicionamento e imagem de marca no mercado de café verde.** Tese de Doutorado apresentada a Universidade Federal de Lavras, 2015. Disponível em <http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/123456789/8397/Tese_Lucio%20Garcia%20Caldeira.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em 30 de Set. 2018.

CONCEIÇÃO, J. C. P. R. D., ELLERY JUNIOR, R. G. D., & CONCEIÇÃO, P. H. Z. D. **Cadeia agroindustrial do café no Brasil: uma análise do período recente.** Repositório do conhecimento IPEA (RCIPEA), 2017.

CRUZ, A, C; PEREIRA, F, dos S; De FIGUEIREDO, V, S. **Fertilizantes organominerais de resíduos do agronegócio: avaliação do potencial econômico brasileiro.** BNDES Setorial, 2017.

DO VALE, A, T; DE OLIVEIRA MOREIRA, A, C; MARTINS, I, S. **Avaliação do potencial energético de Bambusa vulgaris em função da idade.** Floresta e Ambiente, v. 24, 2017.

DURÁN, C. A., TSUKUI, A., SANTOS, F., MARTINEZ, S. T., BIZZO, H. R., & REZENDE, C. M. **Café: Aspectos Gerais e seu Aproveitamento para além da Bebida.** Revista Virtual Química, v.9, p. 107-134, 2017.

FOSCACHES, C.; SAES, M. S. M.; VACARI, G.F.J. **Formas plurais na aquisição da matéria prima: uma análise do setor de torrefação e moagem de café no Brasil.** Disponível em: <<https://portalseer.ufba.br/index.php/revistaoes/article/view/13674/11176>>. Acesso em 01 Set. 2018.

FREITAS, S. P.; MONTEIRO, P. L.; LAGO, R. C. A. **Extração do óleo da borra de café solúvel com etanol comercial**. Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil: Poços de Caldas, MG). Brasília, D.F.: Embrapa Café; Belo Horizonte : Minasplan, v.2, 1490p. Disponível em <<http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/882>>. Acesso em 22 Set. 2018.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Crise financeira, energia e sustentabilidade no Brasil**. Disponível em <http://www.producao.usp.br/bitstream/handle/BDPI/11912/art_GOLDEMBERG_Crise_e_financeira_energia_e_sustentabilidade_no_Brasil_2009.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 02 Set. 2018.

MATOS, L. J. B. L de; COSTA, E.; LIMA, L. P. de; FERNANDES, F. A. N. **Estudo comparativo da extração do óleo da borra de café**, 2010.

MAZZAFERA, P.; SOAVE, D.; ZULIO, M.; GUERREIRO, O.F. **Oil content of green beans from some coffee species**. Bragantia, v. 57, 1998. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87051998000100006> Acesso em: 10 de jul. 2018

MAGGIOLI, M. F. **Retenção de óleo de café verde em complexos coacervados de proteínas concentradas do soro de leite ou soja e goma arábica**. Dissertação de Mestrado da Universidade Federal de Goiás, 2014.

MOURA, C, L. **Extração e caracterização da composição lipídica da borra de café e o estudo do potencial aproveitamento deste resíduo**. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2016.

RAMALHO, H. F.; SUAREZ, P. A. Z. **A química dos óleos e gorduras e seus processos de extração e refino**. Revista Virtual Química, v.5, p.2-15, 2013.

RAVINDRANATH, R.; YOUSUF ALI KHAN, R.; OBY REDDY, T. THIRUMALA RAO, S.D. REDDY, B.R. **Composition and Characteristics of Indian Coffee Bean, Spent Ground and Oil**. Journal Science Agriculture, v. 23, p. 307-310, 1972.

RELVAS, E. **Tipos de Cafés mais consumidos no Brasil**, 2016. Disponível em: <<https://www.loucodocafe.com.br/tipos-de-graos-de-cafe/>>. Acesso em 04 de Jul. 2017.

RODRIGUES, L. G. D. S. M., RODRIGUES, F. M., DE OLIVEIRA, E. M., VIERA, V. B., ARÉVALO, A. M., & VIROLI, S. L. M. **Peanut (Arachis sp.) as a source in the Brazilian energy matrix**. Journal of Bioenergy and Food Science, v.3, p.178-190, 2016.

RONCHI, C.P. **A origem do café conillon**. 2009. Disponível em:<http://www.cetcaf.com.br/informacoes%20gerais/origem%20cafe%20conilon/origem_cafe_conilon.htm>. Acesso em 06 de jul. 2018.

SANTOS, D. M. dos. **Desenvolvimento de método para a obtenção de energia a partir da produção de biodiesel via extração de óleo de borra de pó de café em**

escala laboratorial. 2010. Dissertação (Mestrado programa de Interunidades de Pós Graduação em Energia) - EP/FEA/IEE/IF da Universidade de São Paulo. Disponível em <http://www.iee.usp.br/producao/2010/Teses/Denise_Dissertacao.pdf>. Acesso em 03 set. 2018.

SILVA, L. D. S., SOUZA, M. C. C. D., KITZBERGER, C. S. G., & SCHOLZ, M. B. D. S. **Caracterização do óleo de café com diferentes teores de diterpenos.** SBIfacé, Biblioteca do café. SPCB, Curitiba, 2015.

SPERETA, R, A. **Aprendendo Química Online**, 2013. Disponível em <<http://aprendendoquimicaonline.blogspot.com.br/2013/05/esteres.html>> Acesso em 01 de Jul. 2016.

SOUZA, W,O; De OLIVEIRA,F; BUENO, M,R. **Extração e caracterização do óleo obtido da borra de café como potencial utilização na produção de biodiesel.** Anais do III Encontro de Pesquisa da FATEB. Conhecimento em Construção. Vol. II, Engenharia Química. Editora FATEB, 2016.

TERCEIRO, M. G., MORELLO, O. F., MINGOTTE, F. L. C., & LEMOS, L. B. **Atributos morfológicos de cultivares de café arábica (Coffea arabica L.) durante o primeiro ano de formação em Jaboticabal-SP.** Biblioteca do Café, 2017. Disponível em < <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/9395>> Acessado em 30 de Set. 2018.

TURATTI, J.M. **Extração e caracterização de óleo de café: II SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL**, Campinas –SP, 2001.

XAVIER, L. F., dos SANTOS LISBOA, T., & LULA, I. **Reaproveitamento da Borra de Café na Obtenção de Biodiesel e de Carvão Ativado para Tratamento de Rejeitos Industriais Têxteis.** Revista Scientia Amazonia, v. 6, n.2, 91-108, 2017.



INFLUÊNCIA DO MÉTODO DE SÍNTESE NA COR DE PIGMENTOS INORGÂNICOS SINTÉTICOS

Mariane Dalpasquale¹ e Fauze Jacó Anaissi²

RESUMO

Pigmentos inorgânicos sintéticos são amplamente utilizados em indústrias, principalmente de tintas e devido a essa aplicação constantemente se torna necessária a busca por inovações, novos métodos de síntese, visando reduzir custos e entrar em consenso com questões ambientais. O objetivo da presente pesquisa foi verificar a influência do método de síntese nas coordenadas colorimétricas de seis pigmentos, obtidos por duas sínteses distintas, denominadas Método de Mistura Sólida e Método de Reação por Gelificação, utilizando nitrato de alumínio nonahidratado, pectina cítrica e nitratos de íons colorantes e temperatura de calcinação de 600 °C, em ambas as sínteses. Foram obtidos pigmentos de cor roxa, laranja e verde, denominados, Co-Al(pec), Fe-Al(pec) e Ni-Al(pec), respectivamente. Após a calcinação os pigmentos de mesma composição inicial, visualmente, mostraram pequenas diferenças de coloração, tanto na forma de pó quanto na forma aplicada, porém ao realizar a análise por colorimetria CIELAB as diferenças obtidas foram significativas em todos os casos, com valores de diferença total de cor (ΔE) maiores que 6,0, indicando que a síntese tem influência na coloração final de um pigmento, embora os reagentes utilizados no processo sejam os mesmos e na mesma proporção.

Palavras-chave: Alumínio; CIELAB; Polissacarídeo; Metal de Transição.

ABSTRACT

Synthetic inorganic pigments are widely used in industries, mainly paints, and because of this application it is constantly necessary to search for innovations, new methods of synthesis, aiming to reduce costs and to reach consensus with environmental issues. The objective of the present study was to verify the influence of the synthesis method on the colorimetric coordinates of six pigments obtained by two different syntheses, called Solid Mix Method and Gelation Reaction Method, using aluminum nitrate nonahydrate, citric pectin and ion nitrates coloring and calcination temperature of 600 °C, in both syntheses. There were obtained pigments of purple, orange and green color, denominated Co-Al(pec), Fe-Al(pec) e Ni-Al(pec), respectively. After calcination the pigments of the same initial composition visually showed small color differences, both in powder form and in the applied form, but when analyzed by CIELAB colorimetry the obtained differences were significant in all cases, with values of total color difference (ΔE) greater than 6.0, indicating that the synthesis has influence on the final coloration of a pigment, although the reagents used in the process are the same and in the same proportion.

¹ Doutora em Química e professora do Departamento de Licenciatura em Química da UTFPR – e-mail: <marianedalpasquale@gmail.com>.

² Doutor em Química e professor do Departamento de Química da Universidade Estadual do Centro-Oeste – e-mail: <fjanaissi@gmail.com>.

Key-words: Aluminum; CIELAB; Polysaccharide; Transition Metal.

1. INTRODUÇÃO

Pigmentos podem ser definidos como particulados sólidos, de origem inorgânica ou orgânica, naturais ou sintéticos, preto, branco, colorido ou fluorescente, que são insolúveis no meio ao qual venha a ser aplicados e que não reajam quimicamente ou fisicamente com o meio (BONDIOLI, MANFREDINI E DE OLIVEIRA, 1998). O pigmento fornece a cor através da dispersão mecânica no meio a ser colorido ou aplicado e difere neste ponto dos corantes inorgânicos, pois estes são solúveis no meio em que são incorporados, perdendo suas características cristalinas e estruturais iniciais (BONDIOLI, MANFREDINI E DE OLIVEIRA, 1998).

Esse termo serve também para designar um material colorido, cujo objetivo ao ser aplicado, além de colorir, é o de oferecer consistência e facilitar a secagem (PEREIRA et al., 2007). Existe hoje a necessidade crescente de obter pigmentos de qualidade, com economia de tempo e custo financeiro, surgindo como alternativa o emprego de materiais sintéticos que possuem como vantagens quando comparado a pigmentos naturais: a facilidade de obtenção, a reprodutibilidade, a homogeneidade e a ausência de impurezas, fatores que permitem que seja obtido ao final do processo um pigmento de boa qualidade (PEREIRA et al., 2007).

Pigmentos sintéticos tem sua importância para o setor industrial facilmente constatada pela gama de cores que pode ser encontrada no dia a dia. Entre as principais indústrias que utilizam pigmentos, podemos citar a de plásticos, cerâmica e principalmente no setor de tintas. Por essa ampla utilização, constantemente se torna necessária à busca por novas propriedades, visando sempre métodos simples, de baixo custo e processos ambientalmente sustentáveis. Entre os pigmentos sintéticos mais utilizados estão os derivados de sais inorgânicos de alumínio, devido ao baixo custo, abundância, alta dureza, resistência à abrasão e a corrosão (CAO, VASSEN E STOEVEER, 2004) e baixa toxicidade, propriedades que os tornam materiais tecnologicamente importantes (DALPASQUALE et al., 2016).

Como forma de inovação, pigmentos inorgânicos sintéticos podem ser preparados pela combinação de componentes orgânicos e inorgânicos, constituindo uma alternativa para produzir materiais com propriedades superiores às apresentadas por seus componentes individuais (JOSÉ E PRADO, 2005). Como parte orgânica na preparação de novos materiais, polímeros orgânicos, como a pectina cítrica, passaram a ser utilizados com maior frequência devido à sua processabilidade e flexibilidade (HIRATSUKA, SANTILLI E PULCINELLI, 1995).

A pectina pode ser produzida principalmente através de cascas de frutas cítricas (laranja, limão e lima) e da polpa da maçã, devido à alta concentração encontrada, sendo extraídas em condições levemente ácidas e em altas temperaturas, apresentando elevado peso molecular: 20.000 a 360.000 g/mol (CANTERI et al., 2012; SRIAMORNSAK, 2003). Entre suas principais propriedades destacam-se a viscosidade, a capacidade de formar géis ou soluções altamente viscosas e o poder estabilizante (PAIVA, LIMA E PAIXÃO, 2009).

Com relação a cor dos pigmentos, ela esta associada com a qualidade do produto formado e por isso é necessário que um padrão seja seguido, pois alterações na síntese, como por exemplo, as concentrações de reagentes adicionadas, a temperatura empregada, entre outras, podem afetar a coloração do produto final. Para avaliar a cor de materiais, uma das técnicas mais utilizadas é colorimetria CIELAB, que permite especificações de percepções de cores em

termos de um espaço tridimensional (L, a* e b*) (MELCHIADES E BOSCHI, 1999). O eixo L ou L* é denominado luminosidade, sendo proporcional ao valor no sistema Munsell de cor, variando de 0 (preto) a 100 (branco) (MELCHIADES E BOSCHI, 1999). As coordenadas a* e b* representam a cromaticidade, onde a* corresponde ao eixo verde-vermelho e b* ao eixo azul-amarelo, e não apresentam limites específicos em termos numéricos (MELCHIADES E BOSCHI, 1999; SHANDA, 2007).

O objetivo deste trabalho foi analisar a influência de duas sínteses distintas na cor final de pigmentos inorgânicos sintéticos, através de rotas de síntese simplificadas, denominadas Método de Mistura Sólida e Método de Reação por Gelificação. Para as sínteses foram utilizados sais inorgânicos de alumínio e outros sais inorgânicos de metais colorantes (Fe, Co e Ni), adicionando também um precursor orgânico - pectina cítrica, polissacarídeo heterogêneo obtido a partir de fontes vegetais (JANEWAY, 2003) ou de rejeitos industriais (cascas de limão, laranja, etc.) (JOSÉ E PRADO, 2005; HIRATSUKA, SANTILLI E PULCINELLI, 1995).

Todos os pigmentos após passarem por processo de calcinação a 600 °C foram aplicados em tinta incolor, num processo simples de dispersão e ao final tanto os pigmentos na forma de pó, quanto os pigmentos na forma aplicada foram caracterizados por colorimetria (CIELAB).

2. METODOLOGIA

2.1 Materiais

Neste trabalho foram utilizados reagentes de elevado grau de pureza, para evitar a interferência de possíveis contaminantes. A Tabela 1 descreve os reagentes utilizados nas sínteses

Tabela 1 – Reagentes utilizados na preparação dos pigmentos.

Produto	Fórmula	Pureza	Massa Molar (g/mol)
Pectina Cítrica	-	-	-
Nitrato de Alumínio Nonahidratado	$\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	98%	375,14
Nitrato de Cobalto Hexahidratado	$\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	98%	291,03
Nitrato de Ferro Nonahidratado	$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	98%	404,00
Nitrato de Níquel Hexahidratado	$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	97%	290,81

Fonte A autora, 2018.

2.2 Métodos

Os pigmentos foram sintetizados a partir de dois métodos distintos de síntese, denominados Método de Mistura Sólida e Método de Reação por Gelificação, nos quais os reagentes foram misturados nas mesmas proporções:

a) Método de Mistura Sólida – para a preparação dos pigmentos coloridos ocorreu a mistura da parte orgânica - pectina cítrica com a parte inorgânica – nitrato de alumínio nonahidratado, adicionando também um íon colorante de cobalto, ferro ou níquel, também na forma de nitrato hidratado, na proporção 1:1:0,2 (pectina cítrica/nitrato de alumínio nonahidratado/nitrato de metal colorante), misturando-se os sólidos por aproximadamente 30 minutos em um misturador mecânico, seguido de calcinação a 600 °C.

b) Método de Reação por Gelificação – para a preparação dos pigmentos coloridos ocorreu inicialmente o aquecimento a 80 °C de 100 mL de água ultrapura, adicionando na sequência a pectina cítrica, mantendo essa solução sob aquecimento e agitação constante até completa solubilização do polissacarídeo. Em seguida adicionou-se o nitrato de alumínio nonahidratado e o nitrato do metal de transição, mantendo a proporção 1:1:0,2 (pectina cítrica/nitrato de alumínio nonahidratado/nitrato de metal colorante). A mistura foi mantida em aquecimento por 4 horas a 80 °C, seguido de calcinação a 600 °C.

Após a calcinação os pigmentos foram macerados e armazenados em local arejado. Os pigmentos foram nomeados de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 - Nomenclatura dos pigmentos formados

Nomenclatura	Composição Inicial	Temperatura de Calcinação (°C)
Co-Al _(pec)	Pectina, alumínio e cobalto	600
Fe-Al _(pec)	Pectina, alumínio e ferro	600
Ni-Al _(pec)	Pectina, alumínio e níquel	600

Fonte A autora, 2018.

2.3 Técnicas de Caracterização

Os pigmentos foram caracterizados por colorimetria CIELAB, no equipamento Chroma Meters, da Konica Minolta, modelo CR-400/CR-410, sob ação da fonte iluminante D65, em um ângulo 2°.

A diferença de cor entre os pigmentos foi avaliada de acordo com as normas da CIE, usando a Equação 1, onde L, a* e b* são as coordenadas colorimétricas e L* varia do preto (0) ao branco (100), a* do verde (-) ao vermelho (+) e b* do azul (-) até o amarelo (+). As coordenadas a* e b* não apresentam limites numéricos específicos (MELCHIADES E BOSCHI, 1999; SHANDA, 2007) e os valores de ΔL , Δa e Δb representam as diferenças entre dois valores principais.

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$$

Equação 1 – Diferença total de cor

2.4 Testes Aplicados

Para verificar a capacidade de coloração dos pigmentos, um teste de pintura em placas de vidro para microscopia foi realizado, utilizando-se tinta branca comercial como dispersante. Os testes foram realizados por adição de 10% de pigmento em relação ao volume total de tinta de 1,0 g. As placas foram caracterizadas por colorimetria CIELAB.

3. DESENVOLVIMENTO

A Figura 1 apresenta as imagens dos pigmentos na forma de pó preparados segundo os dois métodos de síntese. A cor para os pigmentos Co-Al(pec) é roxa; para os pigmentos Fe-Al(pec) a cor apresentada é laranja e para os pigmentos Ni-Al(pec) é verde, independente do método de síntese.

Visivelmente a maior diferença de cor ocorreu entre os pigmentos Co-Al(pec) e Fe-Al(pec), porém a percepção de cores é diferente para cada indivíduo, gerando erros de avaliação, necessitando de equipamentos que detectem diferenças imperceptíveis ao olho humano. Segundo MOKRZYCKI e TATOL (2011) o olho humano geralmente não consegue diferenciar duas cores que possuam um ΔE (diferença total de cor) inferior a 2,0 – 3,0 unidades CIELAB.

Figura 1 – Imagens dos pigmentos preparados por sínteses distintas, na forma de pó.



A Tabela 3 apresenta os resultados de colorimetria para os pigmentos preparados segundo os dois métodos de síntese, na forma de pó.

Tabela 3 - Parâmetros colorimétricos dos pigmentos preparados por sínteses distintas, na forma de pó.

Método de Mistura Sólida			
Pigmentos	L*	a*	b*
Co-Al _(pec)	35,87	-2,03	-0,49
Fe-Al _(pec)	51,91	4,04	19,14
Ni-Al _(pec)	52,89	-3,13	9,52

Método de Reação por Gelificação			
Pigmentos	L*	a*	b*
Co-Al _(pec)	43,69	-1,42	-2,72
Fe-Al _(pec)	65,20	3,28	22,54
Ni-Al _(pec)	66,71	-3,24	9,01

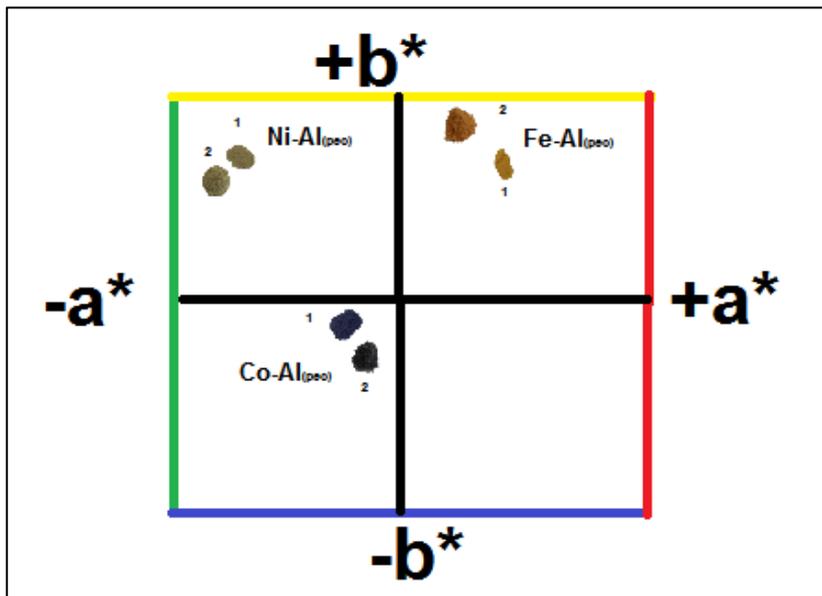
Fonte: A autora, 2018.

É possível verificar que para todos os pigmentos ocorreram alteração nas coordenadas colorimétricas, indicando mudanças de coloração ou tonalidade do material ao modificar o método de síntese empregado. Comparando as sínteses, o método de mistura sólida gerou pigmentos de menor luminosidade (L*), quanto às coordenadas a* e b* não houve linearidade nos dados obtidos, ou seja, para alguns pigmentos ocorreu diminuição no valor da coordenada ao utilizar o método de mistura sólida e para outros ocorreu aumento.

Analisando os pigmentos aos pares, o pigmento Co-Al(pec) obtido pelo método de mistura sólida tende menos a cor azul (-b*) e mais a tonalidade verde (-a*) que o mesmo pigmento preparado pela outra síntese. O pigmento Fe-Al(pec) obtido pelo método de mistura sólida mostrou maior tendência ao vermelho (+a*) e menor tendência ao amarelo (+b*) e o par de pigmentos Ni-Al(pec) apresentou valores semelhantes da coordenada a* e o valor da coordenada b* apresentou pequenas modificações, com maior tendência ao amarelo pelo pigmento preparado pelo método de mistura sólida.

A partir dos dados da Tabela 3 foram determinadas as coordenadas colorimétricas no plano a*b* para todos os pigmentos conforme ilustra a Figura 2. Analisando a Figura 2 é possível verificar que os pares de pigmentos de colorações semelhantes pertencem ao mesmo quadrante de cor.

Figura 2 – Coordenadas colorimétricas no plano a*b* dos pigmentos sintetizados na forma de pó.



Fonte A autora, 2018.

**1 – pigmento preparado segundo o Método de Mistura Sólida.

**2 – pigmento preparado segundo o Método de Reação por Gelificação.

A Tabela 4 apresenta os resultados da diferença total de cor (ΔE), obtidos ao comparar os valores das coordenadas colorimétricas entre os pares de pigmentos sintetizados a partir dos mesmos reagentes e nas mesmas proporções, variando a metodologia de síntese. Visivelmente a maior diferença de cor ocorreu entre os pigmentos Co-Al(pec) e Fe-Al(pec), porém ao analisar os dados de CIELAB as maiores diferenças ocorreram para os pigmentos Fe-Al(pec) e Ni-Al(pec).

Segundo Quindici (2013) valores de ΔE em unidades CIELAB entre 1,5 – 3,0 indicam diferenças claras na avaliação da cor entre dois pigmentos (distinguíveis para o olho humano), valores que variam de 3,0 - 6,0 remetem a diferenças muito claras de cor e maiores que 6,0 as diferenças são fortes. Portanto, para todos os pigmentos as diferenças totais de cor encontradas não estão dentro dos limites normais de tolerância, ou seja, valores menores que 1,5, indicando cores equivalentes e embora os reagentes utilizados nas sínteses tenham sido os mesmos, os processos distintos de preparação dos pigmentos, influenciaram na cor obtida do produto final.

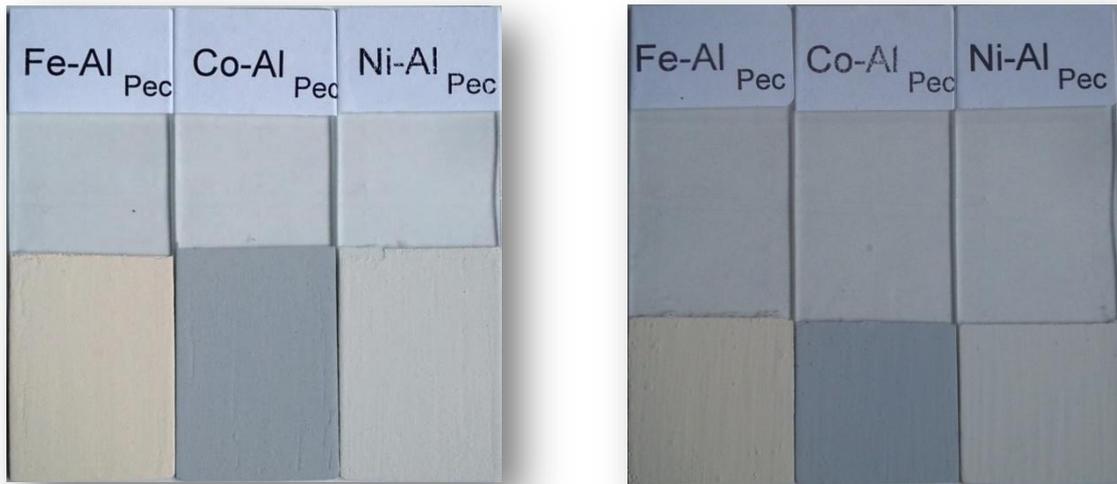
Tabela 4 – Valores de diferença total de cor (ΔE) para os pigmentos na forma de pó

Pares de Pigmentos	ΔE
Co-Al _(pec)	8,15
Fe-Al _(pec)	13,74
Ni-Al _(pec)	13,83

Fonte A autora, 2018.

A Figura 3 apresenta as imagens dos pigmentos na forma aplicada preparados segundo os dois métodos de síntese propostos. Os pigmentos Co-Al(pec), visualmente, mantiveram a coloração roxa, os pigmentos Fe-Al(pec) mostraram coloração laranja e os pigmentos Ni-Al(pec) mostraram coloração verde. Comparando com os pigmentos obtidos na forma de pó e na forma aplicada, é evidente que a interação pigmento/tinta modificou as tonalidades dos pigmentos, fornecendo tons claros.

Figura 3 – Imagens dos pigmentos obtidos na forma aplicada



Método de Mistura Sólida

Fonte A autora, 2018.

Método de Reação por Gelificação

A Tabela 5 apresenta os dados colorimétricos obtidos para os pigmentos na forma aplicada e a Tabela 6 mostra a diferença total de cor (ΔE) para esses materiais. As coordenadas colorimétricas da tinta branca empregada nos testes aplicados são: $L^* 70,44$; $a^* -1,61$; $b^* -3,93$.

Para todos os pigmentos houve ganho na coordenada L^* - luminosidade quando aplicados em tinta branca. O pigmento Co-Al(pec) preparado pelo Método de Mistura Sólida tem menor tendência a coloração verde ($-a^*$) e menor tendência ao azul ($-b^*$) do que o mesmo pigmento preparado pelo Método de Reação por Gelificação. Os pigmentos Fe-Al(pec) apresentaram maiores diferenças na coordenada b^* que varia do azul ao amarelo, onde o pigmento obtido pelo Método de Mistura Sólida mostrou maior tendência a coloração vermelha e menor tendência ao amarelo que o mesmo pigmento obtido por outro método de síntese.

Para os pigmentos Ni-Al(pec) as diferenças nas coordenadas colorimétricas a^* e b^* foram pequenas, com maior variação no grau de luminosidade do material, onde o pigmento preparado pelo Método de Reação por Gelificação forneceu um material com maior luminosidade.

Tabela 5 - Parâmetros colorimétricos dos pigmentos preparados por sínteses distintas, na forma de aplicada.

Método de Mistura Sólida			
Pigmentos	L*	a*	b*
Co-Al _(pec)	59,50	-2,10	-3,00
Fe-Al _(pec)	70,70	4,00	8,90
Ni-Al _(pec)	72,30	-0,50	1,90
Método de Reação por Gelificação			
Pigmentos	L*	a*	b*
Co-Al _(pec)	64,90	-2,60	-4,90
Fe-Al _(pec)	77,20	3,30	9,80
Ni-Al _(pec)	78,50	-0,40	2,10

Fonte A autora, 2018.

Analisando os dados apresentados na Tabela 6, a maior diferença total de cor ocorreu entre os pigmentos Fe-Al(pec), obtendo o valor de 6,60, porém para os outros pares de pigmentos, os valores de ΔE obtidos foram elevados, indicando diferenças de cor significativas e perceptíveis ao olho humano. Para todos os pigmentos na forma aplicada ocorreu ganho de luminosidade (aumento dos valores da coordenada L*) comparado aos pigmentos na forma de pó.

Tabela 6 – Valores de diferença total de cor (ΔE) para os pigmentos na forma aplicada

Pares de Pigmentos	ΔE
Co-Al _(pec)	5,75
Fe-Al _(pec)	6,60
Ni-Al _(pec)	6,20

Fonte A autora, 2018.

Analisando a Tabela 3, que apresenta os dados colorimétricos para os pigmentos na forma de pó, a maior diferença total de cor (ΔE) ocorreu entre os pigmentos verdes (valor de 13,83), porém ao aplicá-los em tinta branca essa diferença diminuiu (valor de 6,20). Entretanto, na forma de pó os pares de pigmentos de mesma composição apresentaram valores de ΔE maiores do que na forma aplicada.

4. CONCLUSÃO

Os pigmentos na forma de pó obtidos por dois métodos de síntese distintos, que empregavam os mesmos reagentes e mesma temperatura de calcinação, mostraram diferenças significativas de cor entre os pigmentos analisados (pares de mesma composição), indicando que o processo de síntese influenciou na cor do produto final. Ao aplicar os pigmentos em tinta branca, as diferenças de cor entre os pares de pigmentos analisados foram mantidas e a interação entre o pigmento e a tinta branca alterou os valores das coordenadas colorimétricas.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES, CNPq e Fundação Araucária pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

BONDIOLI, F.; MANFREDINI T.; DE OLIVEIRA, A. P. N.; Pigmentos Inorgânicos: projeto, produção e aplicação industrial. **Cerâmica Industrial**, v. 3, n. 4 – 6, p. 13 - 17, 1998.

CAO, X. Q.; VASSEN, R.; STOEVER, D. Ceramic materials for thermal barrier coatings. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 24, p. 1 - 10, 2004.

CANTERI, M. H. G.; MORENO, L.; WOSIACK, G.; SCHEER, A. de P. Pectina: da matéria-prima ao produto final. **Polímeros**, v. 22, n. 2, p. 149-157, 2012.

DALPASQUALE, M.; MARIANI, F. Q.; MULLER, M. ANAISSI, F. J. Citrus pectin as a template for synthesis of colorful aluminates. **Dyes and Pigments**, v. 125, p. 124 - 131, 2016.

HIRATSUKA, R. S.; SANTILLI, C. V.; PULCINELLI, S. H.. O processo sol-gel: uma visão físico-química. **Química Nova**, v. 1, n. 2, p. 171 - 180, 1995.

JOSÉ, N. M.; PRADO, L. A. S. de A. Materiais híbridos orgânico-inorgânico: preparação e algumas aplicações. **Química Nova**, v. 28, n. 2, p. 281 - 288, 2005.

JANEWAY, P. A. Nanotechnology – it's more than size. **American Ceramic Society Bulletin**, v. 82, n. 4, p. 31 - 38, 2003.

MELCHIADES, F. G.; BOSCHI, A. O. Cores e Tonalidades em Revestimentos Cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, v. 4, n. 1-6, p. 11-18, 1999.

MOKRZYCKI, W.; TATOL, M. Color difference Delta E - A survey. **Machine Graphics and Vision**, v.20, n. 4, p. 383 - 411, 2011.

PAIVA, E. P; LIMA, M. S; PAIXÃO, J. A. Pectina: Propriedades Químicas e importância sobre a estrutura de parede celular de frutos durante o processo de maturação. **Revista Iberoamericana de Polímero**, v. 10, p 196-2011, 2009.

PEREIRA, A. R. P.; DA SILVA, M. J. de S. F.; OLIVEIRA, J. A. dos S. Análise química de pigmentos minerais naturais de Itabirito (MG). **Cerâmica**, v. 53, n. 325, p. 35 - 41, 2007.

QUINDICI, M. **O segredo das cores**. 1. ed. São Paulo: All Print, 2013. 204p.

SHANDA, J. **CIE Colorimetry**. Colorimetry: understanding the CIE system. John Wiley & Sons: New Jersey, 2007, p. 25-78.

SRIAMORNSAK, P. Chemistry of pectin and its pharmaceutical uses: A Review. Silpakorn **University International Journal**, v.3, p.206-228, 2003.

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL ASSOCIADA À SIMULAÇÃO DE UM PROCESSO DE DESTILAÇÃO DIFERENCIAL



Ana Carolina de Souza e Silva¹, Jeferson Carlos da Silveira², Osvaldo Vieira³,
Ronaldo Krette Filho⁴.

Área de Concentração: Engenharias e Segurança

Grupo de Trabalho: A&J

RESUMO

No presente trabalho foi abordado os conceitos referentes à Inteligência Artificial, como ela se aplica em operações do cotidiano e desenvolvemos uma aplicação que simula a realidade de um processo de destilação. Desenvolvida essa aplicação dentro do MS Excel para simular as ações que um destilador realiza. Foi possível modelar matematicamente como um determinado volume de fermentado é destilado em cabeça, coração e cauda. O sistema de simulação contemplou em primeiro foco o sistema de destilação, admitindo que somente tenha início quando o fermentador estiver abastecido e em condições de alimentar o fervedor. A vantagem em se utilizar o MS Excel está na viabilidade em se desenvolver uma matriz de dados aonde equações lógicas vêm buscar relação para devolver ao usuário um resultado a ser analisado. O processo todo que o simulador comporta teve um tempo total de 55min, o que tem unicamente finalidade didática. Simular processos no Visual Basic do Excel é um modo de se utilizar uma poderosa ferramenta de cálculos e lógica, podendo ser também utilizável para interface com equipamentos, desde que os suplementos do MS Excel realizem a interface com linguagem de máquina.

Palavras-chave: Inteligência artificial, simulação, processo de destilação.

ABSTRACT

In the present work we approach the referring concepts to Artificial Intelligence, as it applies itself in operations of the daily one and develops an application that simulates the reality of a distillation process. Developed this application inside of the MS Excel to simulate the actions that a distiller carries through. It was possible shape mathematically as one determined leavend volume of is distilled in head, heart and tail. The simulation system contemplated in first focus the distillation system,

¹ Acadêmica do curso de Engenharia Química, FATEB – Faculdade de Telêmaco Borba – e-mail: <carol.souza075@gmail.com>.

² Tecnólogo em Análise e Desenvolvimento de Sistemas pela UNIGRAN e acadêmico do curso de Engenharia Química, FATEB – Faculdade de Telêmaco Borba – e-mail: <jeffhaegen@hotmail.com>.

³ Engenheiro Químico pela Universidade Estadual de Maringá – UEM; Mestre em Controle Ambiental pela UFRJ; Doutor em Modelagem, Simulação, Otimização e Controle de Processos em Indústria de Celulose e Papel pela UFRJ. Coordenador do curso de Engenharia Química, FATEB – Faculdade de Telêmaco Borba – e-mail: <engenharia.quimica@fatebtb.edu.br>.

⁴ Acadêmico do curso de Engenharia Química, FATEB – Faculdade de Telêmaco Borba – e-mail: <Ronaldo.k.f@hotmail.com>.

admitting that only it has beginning when the fermentador will be supplied and in conditions of feeding the fervedor. The advantage in if using the MS Excel are in the viability in if to develop a matrix of data where logical equations come to search relation to return to the user a result to be analyzed. The process all that the simulator floodgate had a total time of 55min, what it has didactic purpose solely. To simulate processes in the Visual beginner's all-purpose symbolic instruction code of the Excel is a way of if also using a powerful tool of calculations and logic, being able to be usable for interface with equipment, since that the supplements of the MS Excel carry through the interface with machine language.

Key-words: Artificial intelligence, simulation, process of distillation.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Inteligência Artificial

Com intenção de tornar os processos mais facilmente adequáveis, tecnologias estão sendo utilizadas, com base no conceito da inteligência artificial.

Por inteligência artificial pode ser entendido o conjunto de mecanismos onde uma sequência de modelagens lógicas adapta-se a um processo ou etapas dele, de modo poder operar sem a total interferência humana. Com isso, pode-se destinar a atenção do elemento humano para tarefas mais críticas, ou ainda, reduzir esforços para a otimização de processos, aonde estes esforços venham a ser insalubres.

A Inteligência Artificial é a combinação de múltiplas tecnologias que permitem que as máquinas percebam, compreendam e atuem – e aprendam por conta própria ou complementem as atividades humanas. O sucesso da I.A. depende da relação simbiótica entre o homem e a máquina, de estratégia e de um constante exercício de aprendizagem. Ainda são seres humanos que a projetam.

Menos erros, redução de custos e ganhos em lucratividade. Esses são apenas alguns dos aspectos positivos da inteligência artificial, o carro-chefe da chamada quarta revolução industrial, que traz a tecnologia como aliada nos processos produtivos e gerenciais em empresas de diversos portes e segmentos.

Embora a robotização das fábricas não seja novidade, já que essa tecnologia é empregada nos negócios desde o século passado, a IA traz novos contornos em relação à presença dessas ferramentas na indústria. Agora, elas são capazes de prever erros, tomar decisões e solucionar problemas em velocidade nunca antes vista.

Ao contrário dos robôs cinematográficos que, na ficção substituem os homens por máquinas, as empresas que já utilizavam alguma forma de IA conseguiram aumentar a capacidade da força do trabalho e superaram o patamar de produtividade. E mais: a inteligência artificial está mudando a maneira de fazer negócios. Inúmeras aplicações são utilizadas em diversos segmentos do mercado, como indústria, varejo e saúde, e em grandes, médias e pequenas empresas.

1.2 Indústria 4.0

No cenário atual de acirrada competição entre empresas dos mais variados segmentos, a diferenciação do produto se dá principalmente pelo preço e pela qualidade oferecida. Desde os primórdios da indústria, pode-se dizer que o foco nos processos estava pautado nesses dois eixos. (TASSI, 2017).

A quarta revolução industrial, chamada de indústria 4.0 é considerada o futuro paradigma da produção. Novas tecnologias devem ser empregadas para integrar máquinas e humanos em cadeias de valor compondo uma rede de entidades (plantas industriais) localizadas em posições geograficamente distribuídas (dispersas), e que devem fornecer serviços e produtos de forma autônoma. Para usar o potencial das novas tecnologias desta forma integrada, e necessária uma ruptura nos métodos tradicionais de concepção e análise de sistemas de controle e, conseqüentemente, novas técnicas de modelagem de sistemas devem ser consideradas. (Kolberg e Zühlke, 2015; Li *et al.*, 2010).

Para Schwab (2016) o impacto da Indústria 4.0 vai para além da simples digitalização, passando por uma forma muito mais complexa de inovação baseada na combinação de múltiplas tecnologias, que forçará as empresas a repensar a forma como gerem os seus negócios e processos, como se posicionam na cadeia de valor, como pensam no desenvolvimento de novos produtos e os introduzem no mercado, ajustando as ações de marketing e de distribuição.

Schwab também diz que é preciso perceber que as alterações irão se verificar em ambos os lados da cadeia de abastecimento, tanto no nível das exigências dos clientes como no dos parceiros de negócio. De acordo com Schwab, em seu livro *The Fourth Industrial Revolution*, são quatro as principais alterações esperadas na Indústria em geral:

- Alterações nas expectativas dos clientes;
- Produtos mais inteligentes e mais produtivos;
- Novas formas de colaboração e parcerias; e
- A transformação do modelo operacional e conversão em modelo digital.

Para Tassi (2017) a indústria 4.0 é um conceito de indústria proposto recentemente e que engloba as principais inovações tecnológicas dos campos de automação, controle e tecnologia da informação, aplicadas aos processos de manufatura. O surgimento de um novo movimento tecnológico, liderado pela Indústria Alemã, que revolucionará a fabricação e a forma como as fábricas são projetadas.

A Indústria 4.0, como se chama, pode se tornar um novo paradigma e forma de produção. Baseia-se basicamente na conectividade, integração da cadeia de suprimentos, sistemas ciberfísicos, capazes de integrar o chão de fábrica (robôs, produtos e logística) e a aplicação de novas tecnologias. Entre muitos, é possível destacar os conceitos de Internet das Coisas (IoT) e sua integração com o Big Data / Analytics.

O cenário da Indústria 4.0 exige um alto nível de competências técnicas, tanto de recursos humanos como financeiros, em relação à escolha e implementação da tecnologia. Assim, é necessário organizar e estruturar a forma de conceber, gerenciar e executar projetos que envolvam a integração entre as tecnologias IoT e Big Data / Analytics.

1.3 Aplicações da inteligência artificial

1.3.1 Robótica

Os robôs são agentes físicos que executam tarefas manipulando o mundo físico. Para isso, eles são equipados com efetadores como pernas, rodas articulações e garras (RUSSELL; NORVIG, 2004). Os efetadores têm o único

propósito de exercer forças físicas sobre o ambiente. Os robôs também estão equipados com uma diversidade de sensores, que lhes permitem perceber o ambiente: câmeras, ultrassom, giroscópios, acelerômetros.

A maior parte de robôs atuais se enquadra em três tipos de categorias: manipuladores, móveis e híbridos. Os manipuladores, ou braços robôs, estão fisicamente ancorados (ou fixos) ao seu local de trabalho, como por exemplos os robôs de linha industrial. O movimento do manipulador em geral envolve uma cadeia inteira de circulações controláveis, permite que esses robôs coloquem seus efetadores em qualquer posição dentro do local de trabalho. Os manipuladores são a maioria, quando se trata de robôs, existem mais de um milhão de unidades instaladas em todo o mundo e sua utilização está focada no ramo industrial (RUSSELL; NORVIG, 2004).

1.3.2 Sistemas Visuais

Segundo Stairs e Reynolds (2006), os Sistemas Visuais envolvem hardware e software que permitem os computadores capturar, armazenar e manipular imagens visuais. O Departamento de Justiça dos Estados Unidos usa sistemas de visão para identificação de impressões digitais. A velocidade que o sistema percorre a base de dados para encontrar impressões digitais trouxe soluções rápidas para casos antigos.

Os sistemas de visão são capazes de reconhecer características faciais. Na Califórnia, uma empresa do ramo chamada CANESTA utiliza raios infravermelhos para que seus computadores captem imagens tridimensionais de objetos. Os raios são direcionados ao objeto e refletidos de volta, a diferença no tempo em que a luz retorna dá ao sistema a imagem do objeto tridimensional. (STAIRS; REYNOLDS, 2006).

1.3.3 Processamento de Linguagem Natural

Para Stairs e Reynolds (2006), o processamento de linguagem natural permite ao computador reconhecer comandos de voz em uma linguagem natural. Existem três níveis para o reconhecimento: comandos (reconhece de dezenas a centenas de palavras), discreto (reconhece fala ditada e com pausas entre as palavras) e contínuo (reconhece a fala natural). Este processamento de linguagem natural pode ser usado para recuperar informações sem digitar comandos ou procurar palavras-chave. Pode-se falar em um microfone conectado ao computador e o computador converte a fala em arquivos de textos ou comandos. Os sistemas simples conseguem associar uma palavra digitada a uma palavra falada pelo microfone, sistemas mais avançados não precisam gravar as palavras (STAIRS; REYNOLDS, 2006).

As corretoras de ações utilizam bastante os sistemas de linguagem natural. Charles M. Schwab (Califórnia, EUA) usa uma máquina de linguagem natural para ajudar seus clientes na utilização de seu site. A T. Rorer Price (Maryland, EUA) usa reconhecimento de voz para que seus clientes obtenham dados de ações, pensões, saldos de conta corrente pelo telefone utilizando de comandos de voz simples. A TDWaterhouse (Ontario, CA) usa uma máquina de linguagem natural para responder as dúvidas dos clientes, isso fez cair a demanda de chamadas ao departamento de serviços a clientes (STAIRS; REYNOLDS, 2006).

1.3.4 Planejamento e Logística.

Durante a Guerra do Golfo (1991), as forças armadas dos Estados Unidos distribuíram uma ferramenta denominada Dynamic Analysis and Replanning Tool, ou DART (STAIRS; REYNOLDS, 2006), para planejamento logístico automatizado e a programação de execução do transporte das tropas.

Isso envolveu até 50.000 veículos, transporte de carga aérea e pessoal ao mesmo tempo, levando em conta os pontos de partida, destinos, rotas e resolução de conflitos, entre todos os parâmetros. As técnicas de planejamento da IA permitiram a geração em algumas horas de um plano que exigiria semanas com outros métodos. A Defense Advanced Research Project Agency (DARPA) declarou que essa única aplicação compensou com folga os seus 30 anos de investido em IA.

1.3.5 Sistemas especialistas

Estes sistemas baseados em conhecimento, construídos, principalmente, com regras que reproduzem o conhecimento do perito, são utilizados para solucionar determinados problemas em domínios específicos.

Projetados para emular a especialização humana de algum domínio específico. Este sistema foi construído por uma base de conhecimento formada de fatos, regras e heurísticas sobre o domínio, tal como um especialista humano faria, e deve ser capaz de oferecer sugestões e conselhos aos usuários e, também, adquirir novos conhecimentos e heurísticas com essa interação (BARONE, 2003).

Na década de 70, os primeiros sistemas especialistas que obtiveram sucesso em seus objetivos foram os sistemas DENDRAL, e o MYCIN. A partir dessa época, vários sistemas foram desenvolvidos para atuação em diferentes domínios, como por exemplo, agricultura, química, sistemas de computadores, eletrônica, engenharia, geologia, gerenciamento de informações, direito, matemática, medicina, aplicações militares, física, controle de processos e tecnologia espacial (BARONE, 2003).

1.4 LÓGICA

A lógica de programação é a capacidade que todo programador precisa ter para resolver os problemas que aparecem no dia-a-dia. A capacidade de dividir o problema em partes menores é uma etapa essencial da lógica de programação e precisa ser levada em consideração quando nos deparamos com qualquer exercício/desafio. É nesse ponto que entra o conceito de algoritmo, descrito, geralmente, como uma sequência lógica de ações capaz de resolver um problema.

1.4.1 Lógica Fuzzy

A lógica fuzzy é a lógica baseada na teoria dos conjuntos fuzzy. Ela difere dos sistemas lógicos tradicionais em suas características e seus detalhes. Nesta lógica, o raciocínio exato corresponde a um caso limite do raciocínio aproximado, sendo interpretado como um processo de composição de relações nebulosas.

Na lógica fuzzy, o valor verdade de uma proposição pode ser um subconjunto fuzzy de qualquer conjunto parcialmente ordenado, ao contrário dos sistemas lógicos binários, onde o valor verdade só pode assumir dois valores: verdadeiro (1) ou falso (0). Nos sistemas lógicos multi-valores, o valor verdade de uma proposição pode ser ou um elemento de um conjunto finito, num intervalo, ou uma álgebra

booleana. Na lógica nebulosa, os valores verdade são expressos linguisticamente, (e.g. : verdade, muito verdade, não verdade, falso, muito falso, ...), onde cada termo linguístico é interpretado como um subconjunto fuzzy do intervalo unitário.

Outras características da lógica fuzzy podem ser sumarizadas como segue: nos sistemas lógicos binários, os predicados são exatos (e.g. : par, maior que), ao passo que na lógica fuzzy os predicados são nebulosos (e.g. : alto, baixo, ...). Nos sistemas lógicos clássicos, o modificador mais utilizado é a negação enquanto que na lógica fuzzy uma variedade de modificadores de predicados é possível (e.g. : muito, mais ou menos, ...). Estes modificadores são essenciais na geração de termos linguísticos (e.g. : muito alto, mais ou menos perto, etc.).

Nos sistemas lógicos clássicos existem somente os quantificadores existenciais (\exists) e universais (\forall). A lógica fuzzy admite, em adição, uma ampla variedade de quantificadores (e.g. : pouco, vários, usualmente, frequentemente, em torno de cinco, etc.).

A probabilidade, no contexto da lógica clássica, é um valor numérico ou um intervalo. Na lógica nebulosa existe a opção adicional de se empregar probabilidades linguísticas (e.g. : provável, altamente provável, improvável, etc.), interpretados como números fuzzy e manipuladas pela aritmética fuzzy (Kaufmann & Gupta , 1985). Também, em contraste com a lógica modal clássica, o conceito de possibilidade é interpretado utilizando-se subconjuntos fuzzy no universo dos reais (Zadeh, 1988).

A modelagem e o controle fuzzy (Lee, 1990) são técnicas para se manusear informações qualitativas de uma maneira rigorosa. Tais técnicas consideram o modo como a falta de exatidão e a incerteza são descritas e, fazendo isso, tornam-se suficientemente poderosas para manipular de maneira conveniente o conhecimento.

A sua utilização em sistemas de controle de processos em tempo real, em computadores ou micro controladores, é das mais convenientes, dado que, geralmente, não envolvem nenhum problema computacional sério.

A teoria de modelagem e controle fuzzy trata do relacionamento entre entradas e saídas, agregando vários parâmetros de processo e de controle. Isso permite a consideração de processos complexos, de modo que os sistemas de controle resultantes proporcionam um resultado mais acurado, além de um desempenho estável e robusto.

A grande simplicidade de implementação de sistemas de controle fuzzy pode reduzir a complexidade de um projeto a um ponto em que problemas anteriormente intratáveis passam agora a ser solúveis.

1.4.2 Visual Basic

Uma ferramenta de lógica computacional capaz de gerir sistemas de interface operacional com a IA, o MS Visual Basic é responsável por ações que são interpretadas por um compilador, e transmitidas para a unidade de processamento, permitindo que o usuário realize interações quando necessário.

Dada a praticidade de se conceber um simulador no programa MS Excel, uma vez que o Visual Basic nativo deste oferece certa funcionalidade para desenvolvimento das Subs, que são os procedimentos, tal como o Visual Basic interpreta as ações que o usuário define.

2. OBJETIVO

Abordar os conceitos referentes a Inteligência Artificial, como ela se aplica em operações do cotidiano e desenvolver uma aplicação que simule a realidade de um processo de destilação.

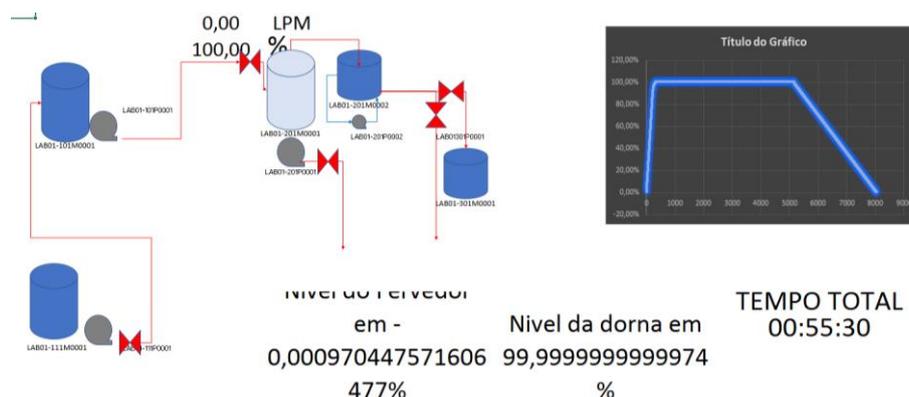
3. METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO

Foi desenvolvida uma aplicação dentro do MS Excel para simular as ações que um destilador realiza. Com base em um protótipo laboratorial. Foi possível modelar matematicamente como um determinado volume de fermentado é destilado em cabeça, coração e cauda.

A sequência das operações contempladas é:

- O abastecimento do fervedor, quando é ligada a bomba do fermentador;
- Aquecimento do fervedor, para que o fermentado passe da fase líquida para fase vapor. Os materiais mais voláteis constituirão a cabeça de operação;
- Uma vez aquecido o fervedor, a bomba do condensador é ligada para recirculação de água e troca de calor;
- A bomba de água com produtos para limpeza é ligada para abastecer o fermentador;
- Quando atinge a temperatura de operação, é iniciado o gotejamento da cabeça e a válvula de descarte é aberta;
- O gotejamento do coração ocorre após a conclusão do gotejamento da cabeça;
- Uma vez atingido o nível de água para limpeza no fermentador, a bomba do tanque de água é desligada;
- O gotejamento do coração prossegue até que o nível da dorna de estocagem seja satisfeito;
- A válvula para a dorna de estocagem é fechada e a bomba do fervedor é aberta com sua válvula para descarte da cauda;
- A água para limpeza do interior do fermentador é bombeada para o fervedor, ainda quente;
- Ao atingir o nível, o fervedor arrefece a bomba para descarte é ligada e a válvula para descarte é aberta.

Figura 01: aspecto do simulador, interface usuário e sistema.



Fonte: acervo dos autores.

O sistema de simulação contemplou em primeiro foco o sistema de destilação, admitindo que somente tenha início quando o fermentador estiver abastecido e em condições de alimentar o fervedor. A modelagem teve como base dados empíricos que foram adquiridos em laboratório.

Tomou-se o cuidado em acompanhar os valores de vazão e abertura da válvula de admissão do fermentado para o fervedor, de modo poder simular a realidade de um processo industrial.

Foi suprimido de modo substancial o tempo de aquecimento que o tanque fervedor precisaria, de modo ter-se uma aplicação de cunho didático e que viesse atender o tempo de uma aula de 55min de duração.

A vantagem em se utilizar o MS Excel está na viabilidade em se desenvolver uma matriz de dados aonde equações lógicas vêm buscar relação para devolver ao usuário um resultado a ser analisado.

Uma vez que o usuário conhece bem as rotinas de equações lógicas deste programa, pode também conceber as macros, que são bibliotecas de algoritmos estruturados.

As macros armazenam na linguagem VBA todas as ações que um compilador executará, e isso é transmitido ao usuário de uma maneira perceptível.

3.1.1 A APLICAÇÃO EM VBA

Uma vez construída a biblioteca de dados a serem utilizados pelo MS Excel, a aplicação em VBA – Visual Basic Application – pode ser desenvolvida para que as ações de um processo possam ser simuladas.

O compilador interpreta as macros e traz ao usuário um resultado visual, que possa ser entendido como uma ação real.

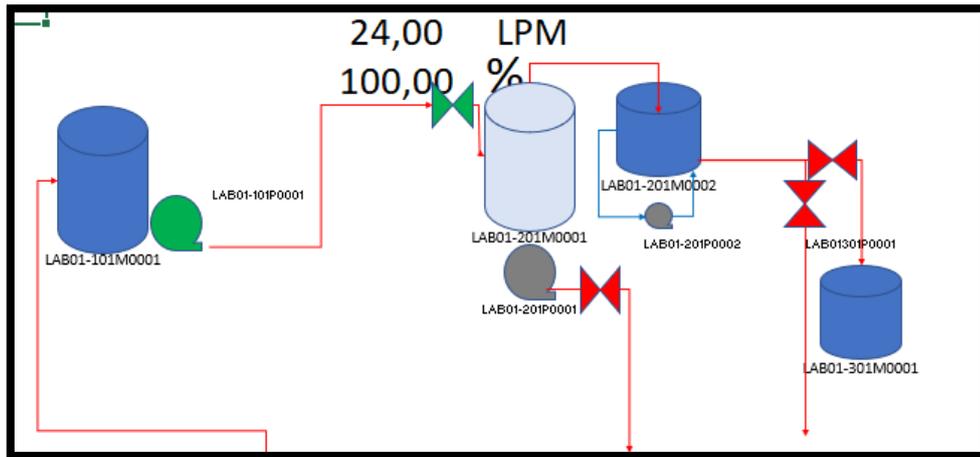
3.1.1.1 DETALHANDO O PROCESSO

Enunciando um processo de destilação, contando com um fermentador, um fervedor, um condensador, um tanque de água para ser utilizada na limpeza dos tanques fermentador e fervedor, uma dorna de recepção.

Os fluidos são transportados pelas etapas através de bombas com vazão de 25LPM (Litros por minuto) para os tanques de fermentação, fervura e água para limpeza. O tanque de água do condensador apresenta uma bomba cuja vazão não será discriminada. Essa água troca calor com a serpentina e condensa o fluido a ser destilado. Válvulas são empregadas para dar fluxo a cada corrente que o processo apresenta.

A válvula de admissão de fermentado para o interior do tanque fervedor possui medição de vazão, com controle de abertura de válvula. Este controle de abertura de válvula modula a partir de 90% de nível no tanque de fervura, de modo poder diminuir impactos de golpes de aríete presentes em um sistema on-off.

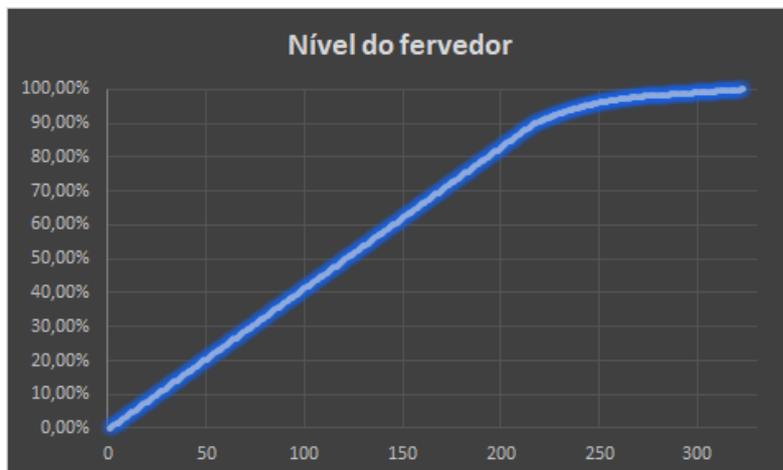
Figura 02: Abastecimento do tanque de fervura.



Fonte: acervo dos autores.

Dessa maneira, o abastecimento do fervedor segue uma tendência linear e depois tem modulação para um declínio mais suave da vazão que adentra o tanque.

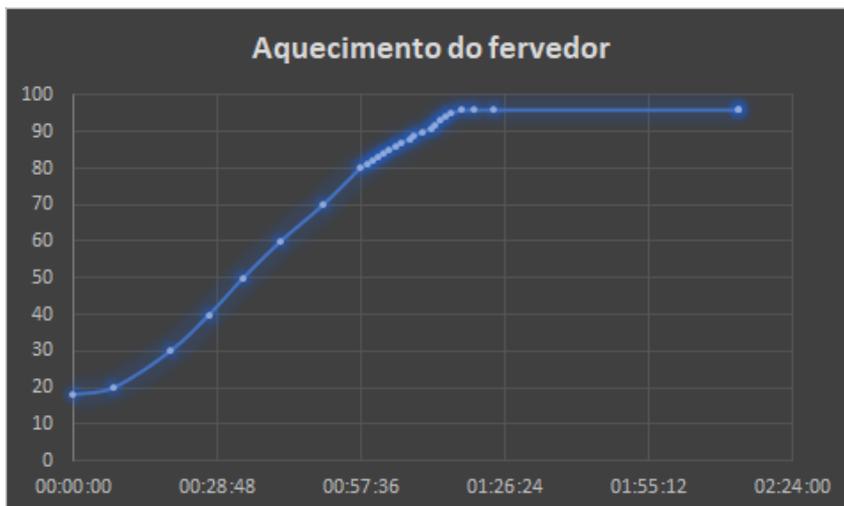
Figura 03: Nível do tanque de fervura.



Fonte: acervo dos autores.

Conforme mencionado anteriormente, o processo de aquecimento do tanque de fervura teve seu tempo reduzido substancialmente para dar didática ao simulador. A modelagem apontava para um tempo de duas horas no simulador.

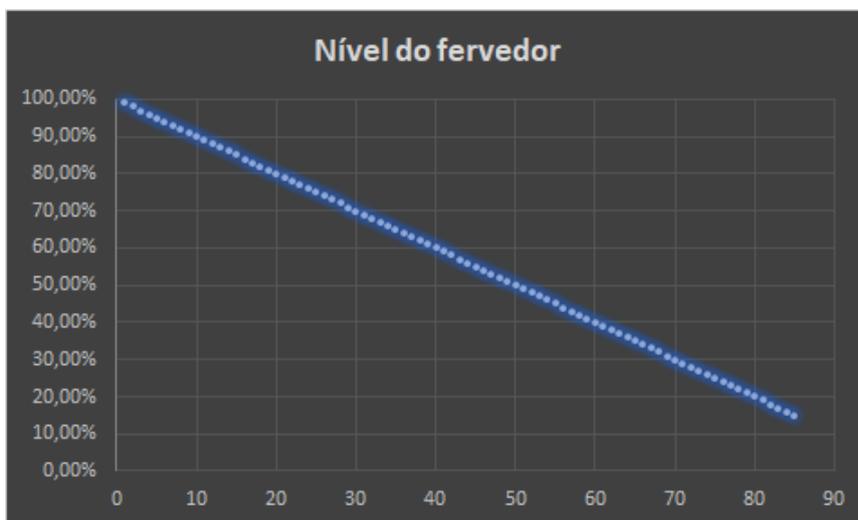
Figura 04: Tempo para aquecimento do fervedor até 95°C.



Fonte: acervo dos autores.

O tempo de declínio do nível do fervedor decorre da observação que, no protótipo construído para uso em laboratório, o volume de destilado produzido corresponde a 1% do volume total de fermentado gotejando a cada 29s.

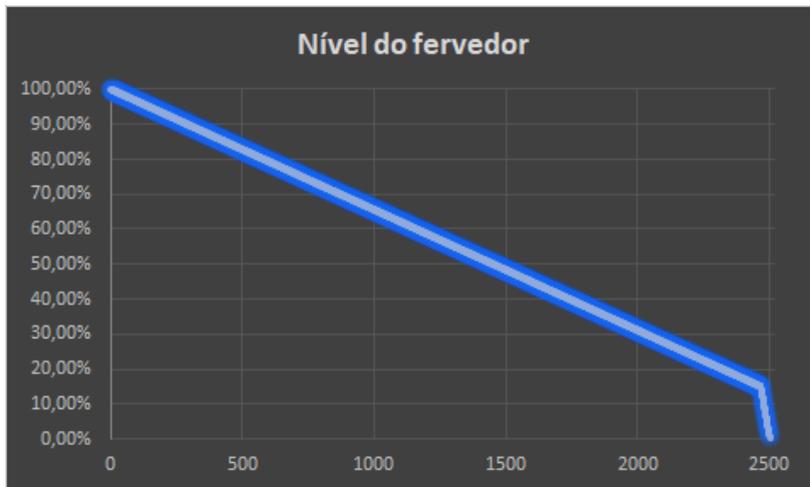
Figura 05: Nível do fervedor à medida que o fermentado evapora.



Fonte: acervo dos autores.

Outrossim, quando o nível do fervedor chega a uma taxa inferior a 15%, o simulador liga a bomba para descarte do material de cauda. O que se verifica a seguir é um decréscimo drástico do volume do tanque de fervura e uma queda acentuada do nível até o seu esvaziamento. Também vale ressaltar que a melhor percepção na figura 06 se dá pelo espaçamento de coleta de dados em relação à figura 05. Na figura 05, o espaçamento de coleta de dados está em um ponto de leitura a cada 29s; na figura06 esse espaçamento se verifica a cada segundo.

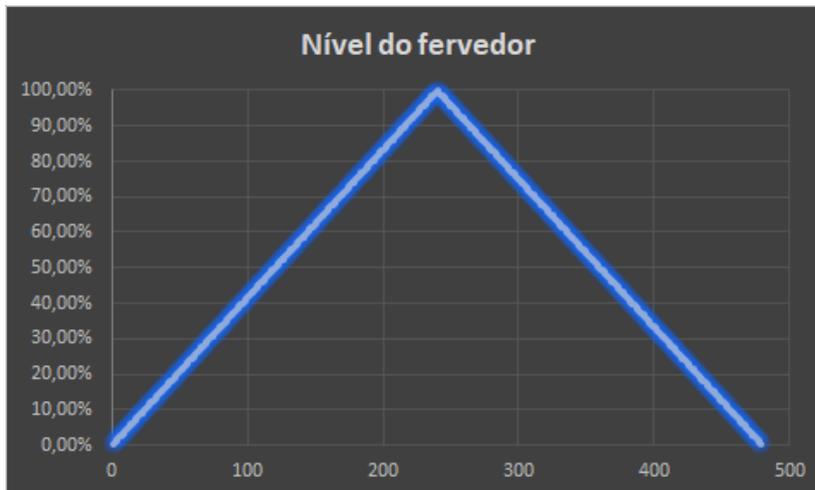
Figura 06: Nível do fervedor expresso pela ação do aquecimento e pela ação da bomba de descarte.



Fonte: acervo dos autores.

Ainda há a alimentação do tanque fervedor com água para limpeza. Esta já foi aduzida do tanque de água para limpeza e teve ação dentro do fermentador. Depois, é bombeada para o tanque de fervura, onde adicionado à ação da temperatura, efetuará limpeza do último tanque.

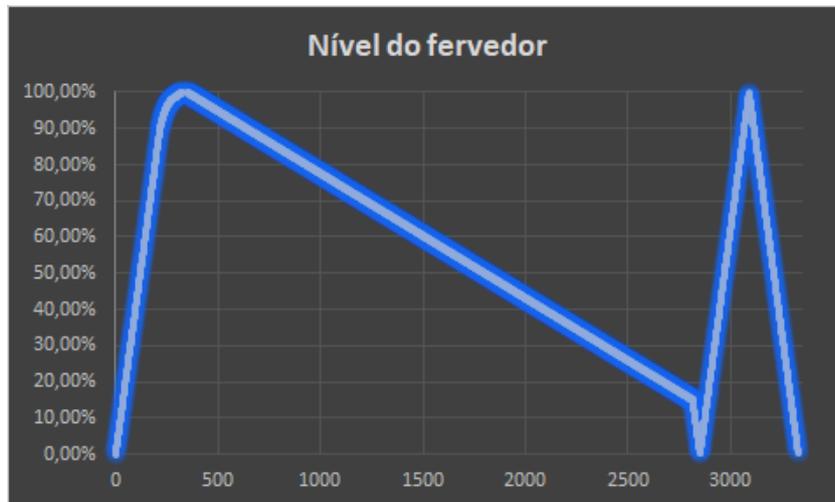
Figura 07: Ação da bomba de água para limpeza e a bomba de descarte na etapa final.



Fonte: acervo dos autores.

Assim, ao final do processo, tem-se um processo de destilação onde o nível do fervedor se comporta conforme a figura 08:

Figura 08: Nível do ferverdor durante todo o processo de destilação.



Fonte: acervo dos autores.

O processo todo que o simulador comporta tem tempo total de 55min, o que tem unicamente finalidade didática. Porém, pode ser de grande valia para se desenvolver um software de processo com interface amigável para o usuário.

3.1.1.2 MACROS

Nesta seção segue descrita a macro que foi responsável por todas as ações do simulador. Nela contém somente as ações independentes de equações lógicas constantes no MS Excel.

Figura 09: Concepção das lógicas de programação no VBA.

```
Sub one_one()  
    ' one_one Macro  
    ' Timing do contador.  
  
    Sheets("planilha2").Select  
    Range("b1").Select  
    Selection.Copy  
    Range("a3").Select  
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _  
        :=False, Transpose:=False  
  
    ' ligar bomba do fermentador  
  
    Sheets("planilha3").Select  
    MsgBox "Iniciando abastecimento do ferverdor", vbOKOnly  
    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("Flowchart: Sequential Access Storage 16")). _  
        Select  
    With Selection.ShapeRange.Fill  
        .Visible = msoTrue  
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 176, 80)  
        .Transparency = 0  
        .Solid  
    End With  
    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("Flowchart: Collate 44")).Select  
    With Selection.ShapeRange.Fill  
        .Visible = msoTrue  
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 176, 80)  
        .Transparency = 0  
        .Solid  
    End With  
End Sub
```

Fonte: acervo dos autores.

```
Sub one_one()
' one_one Macro

Sheets("planilha2").Select
Range("b1").Select
    Selection.Copy
    Range("A3").Select
    Selection.PasteSpecial
Paste:=xlPasteValues,
Operation:=xlNone, SkipBlanks _
    :=False, Transpose:=False
' ligar bomba do fermentador
Sheets("planilha3").Select
MsgBox "Iniciando abastecimento do
fervedor", vbOKOnly
ActiveSheet.Shapes.Range(Array("Flo
wchart: Sequential Access Storage
16"))._
    Select
    With Selection.ShapeRange.Fill
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 176,
80)
        .Transparency = 0
        .Solid
    End With

ActiveSheet.Shapes.Range(Array("Flo
wchart: Collate 44")).Select
    With Selection.ShapeRange.Fill
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 176,
80)
        .Transparency = 0
        .Solid
    End With
Range("A1").Select
Do
Calculate
Loop Until
Sheets("planilha2").Range("C326") <>
""
MsgBox "Fervedor abastecido.",
vbOKOnly
' pump_01_off Macro
' desligar a bomba do fermentador
MsgBox "A bomba do fermentador
será desligada", vbOKOnly

ActiveSheet.Shapes.Range(Array("Flo
```

```
wchart: Sequential Access Storage
16"))._
    Select
    With Selection.ShapeRange.Fill
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.ObjectThemeColor =
msoThemeColorText1
        .ForeColor.TintAndShade = 0
        .ForeColor.Brightness = 0.5
        .Transparency = 0
        .Solid
    End With

ActiveSheet.Shapes.Range(Array("Flo
wchart: Collate 44")).Select
    With Selection.ShapeRange.Fill
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(255, 0, 0)
        .Transparency = 0
        .Solid
    End With
Range("a1").Select
MsgBox "Ligando água para limpeza.",
vbOKOnly

ActiveSheet.Shapes.Range(Array("Flo
wchart: Sequential Access Storage
19"))._
    Select
    With Selection.ShapeRange.Fill
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 176,
80)
        .Transparency = 0
        .Solid
    End With

ActiveSheet.Shapes.Range(Array("Flo
wchart: Collate 47")).Select
    With Selection.ShapeRange.Fill
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 176,
80)
        .Transparency = 0
        .Solid
    End With
Range("a1").Select
MsgBox "Aquecendo o fervedor.",
vbOKOnly
```

```
Do
Calculate
Loop                               Until
Sheets("planilha2").Range("c351") <>
""
MsgBox "Fervedor aquecido.",
vbOKOnly
```

```
ActiveSheet.Shapes.Range(Array("Agr
upar 20")).Select
```

```
ActiveSheet.Shapes.Range(Array("Flo
wchart: Magnetic Disk 27")).Select
With Selection.ShapeRange.Fill
.Visible = msoTrue
.ForeColor.RGB = RGB(255, 0, 0)
.Transparency = 0
.Solid
End With
Range("A1").Select
MsgBox "Bomba do condensador
ligada", vbOKOnly
```

```
ActiveSheet.Shapes.Range(Array("Flo
wchart: Sequential Access Storage
30"))._
Select
With Selection.ShapeRange.Fill
.Visible = msoTrue
.ForeColor.RGB = RGB(0, 176,
80)
.Transparency = 0
.Solid
End With
Range("A1").Select
MsgBox "Iniciado o gotejamento da
cabeça.", vbOKOnly
```

```
ActiveSheet.Shapes.Range(Array("Flo
wchart: Collate 54")).Select
With Selection.ShapeRange.Fill
.Visible = msoTrue
.ForeColor.RGB = RGB(0, 176,
80)
.Transparency = 0
.Solid
End With
Range("A1").Select
```

```
Do
Calculate
```

```
Loop                               Until
Sheets("planilha2").Range("C497") <>
""
MsgBox "Concluído gotejamento da
cabeça.", vbOKOnly
MsgBox "Iniciado o gotejamento do
coração.", vbOKOnly
```

```
ActiveSheet.Shapes.Range(Array("Flo
wchart: Collate 54")).Select
With Selection.ShapeRange.Fill
.Visible = msoTrue
.ForeColor.RGB = RGB(255, 0, 0)
.Transparency = 0
.Solid
End With
```

```
ActiveSheet.Shapes.Range(Array("Flo
wchart: Collate 49")).Select
With Selection.ShapeRange.Fill
.Visible = msoTrue
.ForeColor.RGB = RGB(0, 176,
80)
.Transparency = 0
.Solid
End With
Range("A1").Select
```

```
Do
Calculate
Loop                               Until
Sheets("planilha2").Range("c566") <>
""
MsgBox "Desligando bomba de água
para limpeza", vbOKOnly
```

```
ActiveSheet.Shapes.Range(Array("Flo
wchart: Sequential Access Storage
19"))._
Select
With Selection.ShapeRange.Fill
.Visible = msoTrue
.ForeColor.ObjectThemeColor =
msoThemeColorText1
.ForeColor.TintAndShade = 0
.ForeColor.Brightness = 0.5
.Transparency = 0
.Solid
End With
```

```
ActiveSheet.Shapes.Range(Array("Flo
```

```
wchart: Collate 47")).Select
  With Selection.ShapeRange.Fill
    .Visible = msoTrue
    .ForeColor.RGB = RGB(255, 0, 0)
    .Transparency = 0
    .Solid
  End With
  Range("a1").Select
```

```
Do
Calculate
Loop                               Until
Sheets("planilha2").Range("C2817")
<> ""
MsgBox "Concluído gotejamento do
coração", vbOKOnly
```

```
ActiveSheet.Shapes.Range(Array("Flo
wchart: Collate 49")).Select
  With Selection.ShapeRange.Fill
    .Visible = msoTrue
    .ForeColor.RGB = RGB(255, 0, 0)
    .Transparency = 0
    .Solid
  End With
  Range("A1").Select
```

```
MsgBox "Ligando bomba para
descarte da cauda.", vbOKOnly
```

```
ActiveSheet.Shapes.Range(Array("Flo
wchart: Sequential Access Storage
29")). _
  Select
  With Selection.ShapeRange.Fill
    .Visible = msoTrue
    .ForeColor.RGB = RGB(0, 176,
80)
    .Transparency = 0
    .Solid
  End With
```

```
ActiveSheet.Shapes.Range(Array("Flo
wchart: Collate 48")).Select
  With Selection.ShapeRange.Fill
    .Visible = msoTrue
    .ForeColor.RGB = RGB(0, 176,
80)
    .Transparency = 0
    .Solid
  End With
```

```
Range("A1").Select
Do
Calculate
Loop                               Until
Sheets("planilha2").Range("C2853")
<> ""
  ActiveSheet.Shapes.Range(Array( _
    "Fluxograma: Armazenamento de
Acesso Sequencial 29")).Select
    ActiveSheet.Shapes.Range(Array( _
      "Fluxograma: Armazenamento de
Acesso Sequencial 29", "Conector:
Angulado 83") _
    ).Select
      ActiveSheet.Shapes.Range(Array( _
        "Fluxograma: Armazenamento de
Acesso Sequencial 29", "Conector:
Angulado 83", _
        "Flowchart: Collate 48")).Select
        ActiveSheet.Shapes.Range(Array( _
          "Fluxograma: Armazenamento de
Acesso Sequencial 29", "Flowchart:
Collate 48") _
        ).Select
          With Selection.ShapeRange.Fill
            .Visible = msoTrue
            .ForeColor.RGB = RGB(255, 0, 0)
            .Transparency = 0
            .Solid
          End With
            ActiveSheet.Shapes.Range(Array( _
              "Fluxograma: Armazenamento de
Acesso Sequencial 29")).Select
              With Selection.ShapeRange.Fill
                .Visible = msoTrue
                .ForeColor.ObjectThemeColor =
msoThemeColorText1
                .ForeColor.TintAndShade = 0
                .ForeColor.Brightness = 0.5
                .Transparency = 0
                .Solid
              End With
                Range("A1").Select
```

```
MsgBox "Iniciando abastecimento do
fervedor", vbOKOnly
ActiveSheet.Shapes.Range(Array("Flo
wchart: Sequential Access Storage
16")). _
```

```
Select
With Selection.ShapeRange.Fill
.Visible = msoTrue
.ForeColor.RGB = RGB(0, 176,
80)
.Transparency = 0
.Solid
End With
```

```
ActiveSheet.Shapes.Range(Array("Flo
wchart: Collate 44")).Select
With Selection.ShapeRange.Fill
.Visible = msoTrue
.ForeColor.RGB = RGB(0, 176,
80)
.Transparency = 0
.Solid
End With
Range("A1").Select
```

```
Do
Calculate
Loop Until
Sheets("planilha2").Range("C3093")
<> ""
MsgBox "A bomba do fermentador
será desligada", vbOKOnly
```

```
ActiveSheet.Shapes.Range(Array("Flo
wchart: Sequential Access Storage
16"))._
Select
With Selection.ShapeRange.Fill
.Visible = msoTrue
.ForeColor.ObjectThemeColor =
msoThemeColorText1
.ForeColor.TintAndShade = 0
.ForeColor.Brightness = 0.5
.Transparency = 0
.Solid
End With
```

```
ActiveSheet.Shapes.Range(Array("Flo
wchart: Collate 44")).Select
With Selection.ShapeRange.Fill
.Visible = msoTrue
.ForeColor.RGB = RGB(255, 0, 0)
.Transparency = 0
.Solid
End With
```

```
Range("a1").Select
MsgBox "Iniciando descarte",
vbOKOnly
```

```
ActiveSheet.Shapes.Range(Array("Flo
wchart: Sequential Access Storage
29"))._
Select
```

```
ActiveSheet.Shapes.Range(Array("Flo
wchart: Sequential Access Storage
29", _
"Elbow Connector 83")).Select
```

```
ActiveSheet.Shapes.Range(Array("Flo
wchart: Sequential Access Storage
29"))._
Select
```

```
ActiveSheet.Shapes.Range(Array("Flo
wchart: Sequential Access Storage
29", _
"Flowchart: Collate 48")).Select
With Selection.ShapeRange.Fill
.Visible = msoTrue
.ForeColor.RGB = RGB(0, 176,
80)
.Transparency = 0
.Solid
End With
Range("A1").Select
```

```
Do
Calculate
Loop Until
Sheets("planilha2").Range("C3333")
<> ""
MsgBox "Processo de destilação
concluído", vbOKOnly
ActiveSheet.Shapes.Range(Array("Agr
upar 20")).Select
```

```
ActiveSheet.Shapes.Range(Array("Flo
wchart: Magnetic Disk 27")).Select
With Selection.ShapeRange.Fill
.Visible = msoTrue
.ForeColor.ObjectThemeColor =
msoThemeColorAccent1
.ForeColor.TintAndShade = 0
.ForeColor.Brightness = 0
.Transparency = 0
```

```
.Solid
End With
Range("A1").Select

ActiveSheet.Shapes.Range(Array("Flowchart: Magnetic Disk 27")).Select
With Selection.ShapeRange.Fill
.Visible = msoTrue
.ForeColor.ObjectThemeColor = msoThemeColorAccent1
.ForeColor.TintAndShade = 0
.ForeColor.Brightness = 0.8000000119
.Transparency = 0
.Solid
End With

ActiveSheet.Shapes.Range(Array("Flowchart: Sequential Access Storage 30"))._
Select
With Selection.ShapeRange.Fill
.Visible = msoTrue
.ForeColor.ObjectThemeColor = msoThemeColorText1
.ForeColor.TintAndShade = 0
.ForeColor.Brightness = 0.5
.Transparency = 0
.Solid
End With
Range("A1").Select
MsgBox "Desligando a bomba de descarte.", vbOKOnly
ActiveSheet.Shapes.Range(Array("Flowchart: Sequential Access Storage 29"))._
Select
With Selection.ShapeRange.Fill
.Visible = msoTrue
.ForeColor.RGB = RGB(0, 176, 80)
.Transparency = 0
.Solid
End With

.ActiveSheet.Shapes.Range(Array("Flowchart: Collate 48")).Select
ActiveSheet.Shapes.Range(Array("Fluxograma: Armazenamento de Acesso Sequencial 29")).Select
ActiveSheet.Shapes.Range(Array("Fluxograma: Armazenamento de Acesso Sequencial 29", "Conector: Angulado 83"))._
.Select
ActiveSheet.Shapes.Range(Array("Fluxograma: Armazenamento de Acesso Sequencial 29", "Conector: Angulado 83", "Flowchart: Collate 48")).Select
ActiveSheet.Shapes.Range(Array("Fluxograma: Armazenamento de Acesso Sequencial 29", "Flowchart: Collate 48"))._
.Select
With Selection.ShapeRange.Fill
.Visible = msoTrue
.ForeColor.RGB = RGB(255, 0, 0)
.Transparency = 0
.Solid
End With
ActiveSheet.Shapes.Range(Array("Fluxograma: Armazenamento de Acesso Sequencial 29")).Select
With Selection.ShapeRange.Fill
.Visible = msoTrue
.ForeColor.ObjectThemeColor = msoThemeColorText1
.ForeColor.TintAndShade = 0
.ForeColor.Brightness = 0.5
.Transparency = 0
.Solid
End With
Range("A1").Select

ActiveSheet.Shapes.Range(Array("Flowchart: Sequential Access Storage 29"))._
Select
With Selection.ShapeRange.Fill
.Visible = msoTrue
```

```
.ForeColor.ObjectThemeColor = msoThemeColorText1
.ForeColor.TintAndShade = 0
.ForeColor.Brightness = 0.5
.Transparency = 0
.Solid
End With

ActiveSheet.Shapes.Range(Array("Flowchart: Collate 48")).Select
With Selection.ShapeRange.Fill
.Visible = msoTrue
.ForeColor.RGB = RGB(255, 0, 0)
.Transparency = 0
.Solid
End With
ActiveSheet.Shapes.Range(Array(
- "Fluxograma: Armazenamento de Acesso Sequencial 29")).Select
ActiveSheet.Shapes.Range(Array(
"Fluxograma: Armazenamento de Acesso Sequencial 29", "Conector: Angulado 83")
).Select
ActiveSheet.Shapes.Range(Array(
"Fluxograma: Armazenamento de Acesso Sequencial 29", "Conector: Angulado 83",
"Flowchart: Collate 48")).Select
ActiveSheet.Shapes.Range(Array(
"Fluxograma: Armazenamento de Acesso Sequencial 29", "Flowchart: Collate 48")
).Select
With Selection.ShapeRange.Fill
.Visible = msoTrue
.ForeColor.RGB = RGB(255, 0, 0)
.Transparency = 0
.Solid
End With
ActiveSheet.Shapes.Range(Array(
"Fluxograma: Armazenamento de Acesso Sequencial 29")).Select
With Selection.ShapeRange.Fill
.Visible = msoTrue
.ForeColor.ObjectThemeColor = msoThemeColorText1
.ForeColor.TintAndShade = 0
.ForeColor.Brightness = 0.5
.Transparency = 0
.Solid
End With
Range("A1").Select
End Sub
```

4. CONCLUSÃO

Simuladores são de fundamental importância para se passar uma imagem didática de como um processo ou uma determinada operação unitária de um processo maior deve se comportar, buscando chegar o mais próximo do nível de realidade do processo que se pretende representar.

Sistemas especialistas de controle devem ser muito bem elaborados de modo que uma pane possa ser identificada, tratada e resolvida sem que o processo venha entrar em colapso.

A interface visual com o usuário torna-se imprescindível nos dias atuais, para que uma tomada de decisão seja mais rápida, e assim evitar perdas de processo inerente a desvios.

Simular processos no Visual Basic do Excel é um modo de se utilizar uma poderosa ferramenta de cálculos e lógica, podendo ser também utilizável para interface com equipamentos, desde que os suplementos do MS Excel realizem a interface com linguagem de máquina.

5. AGRADECIMENTOS

Dr. Ivo Neitzel, pelas sugestões que contribuíram para que este trabalho fosse concluído.

REFERÊNCIAS

BARONE, Dante. **Sociedades Artificiais: A Nova Fronteira da Inteligência nas Máquinas**. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2003.

CAMPOS, M.M., e Saito, K. “**Sistemas inteligentes em controle e automação de processos**”, Ed. Ciência Moderna/Petrobrás, Rio de Janeiro, Brasil (2004).

CARMONA, Tadeu. “**Programação de planilhas em VBA**”, Ed. Digerati, São Paulo, Brasil (2006).

CARMONA, Tadeu. “**Universidade VBA**”, Ed. Digerati, São Paulo, Brasil (2006).

KOLBERG, D. and Zühlke, D. (2015). **Lean automation enabled by industry 4.0 technologies, Information Control Problems in Manufacturing**, Vol. 15.

PINTO, Sandra R.B. “**Treinamento avançado em VBA**”, Ed. Digerati, São Paulo, Brasil (2005).

RUSSEL, Stuart; NORVIG, Peter. **Inteligência Artificial. 2**. Ed. Rio de Janeiro: Campos, 2004.

STAIR, Ralph M.; REYNOLDS, George W. **Princípios de Sistemas de Informação**. São Paulo: Thomson, 2006

SCHWAB, K. **The Fourth Industrial Revolution. 1 st Edition, World Economic Forum. Crown Busines: New York**. ISBN: 9781524758869, 2016.

TANGERINO, C. **Lógica fuzzy aplicada em controladores programáveis**. In: **CONGRESSO NACIONAL DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL, CONAI**. Anais... São Paulo, 1994.

O PROCESSO DE DEGRADAÇÃO FOTOLÍTICA DA ATRAZINA UTILIZANDO RADIAÇÃO MW-UV



Gabriela Nascimento da Silva¹; Luiz Mario de Matos Jorge² e Onélia Aparecida Andreo dos Santos³

RESUMO

Embora a evolução nos processos oxidativos avançados aplicados aos tratamentos de efluentes estejam bem consolidadas, novas tendências que possibilita melhorar ainda mais essas técnicas está ganhando cada vez mais espaço. Dentre elas, destaca-se o uso da radiações micro-ondas (MW) associada ao ultravioleta (UV) nos processos fotoquímicos, por propiciarem ótimos resultados na degradação de poluentes emergentes, como a atrazina, em um pequeno intervalo de tempo reacional. Este poluente, um dos herbicidas mais utilizados no mundo, desencadeou muitas doenças em humanos e intensa poluição ambiental, especialmente em alimentos e águas superficiais e subterrâneas. Este trabalho tem como objetivo avaliar o uso de diferentes energias na degradação fotolítica da atrazina. Os ensaios fotolíticos na presença da radiação micro-ondas (MW) e das radiações micro-onda e ultravioleta associadas (MW-UV) foram conduzidas num reator do tipo batelada, e as amostras reagidas foram analisadas por cromatografia líquida de alta resolução (HPLC) e por espectrofotometria UV-Vis a um comprimento de onda de 221 nm. Os resultados reacionais apresentaram uma porcentagem de degradação de 95% na presença das radiações associadas MW-UV e de apenas 4,5% na presença somente da radiação MW, ambos após 240 segundos de reação. Além disso, as análises espectrofotométricas das amostras irradiadas por MW-UV indicaram o aparecimento produtos de degradação do herbicida, correspondente aos compostos atrazina-2-hidroxi e atrazina-desetil-2-hidroxi.

Palavras-chave: Atrazina; Micro-ondas; Radiação Ultra-violeta; Fotólise.

ABSTRACT

Although the evolution in advanced oxidative processes applied to effluent treatment is well consolidated, new trends that make it possible to further improve these techniques are gaining more and more space. Among them, the use of ultraviolet (UV) radiation associated with ultraviolet (UV) radiation in photochemical processes is particularly noteworthy because it provides excellent results in the degradation of emerging pollutants, such as atrazine, in a small reaction time interval. This pollutant, one of the most used herbicides in the world, has triggered many diseases in humans and intense environmental pollution, especially in food and surface water and groundwater. This work aims to evaluate the use of different energies in the

¹ Doutoranda em Engenharia Química no Departamento de Engenharia Química da UEM – e-mail: gabriela_engquim@hotmail.com.

² Doutor em Engenharia Química e docente do Departamento de Engenharia Química da UEM – e-mail: lmmj@deq.uem.br.

³ Doutora em Engenharia Química e docente do Departamento de Engenharia Química da UEM – e-mail: onelia@deq.uem.br.

photolytic degradation of atrazine. The photolytic tests, in the presence of microwave radiation (MW) and associated microwave and ultraviolet (MW-UV) radiation, were done in a batch reactor, and the reacted samples were analyzed by high performance liquid chromatography (HPLC) and UV-Vis spectrophotometry at a wavelength of 221 nm. The results showed a degradation percentage of 95% in the presence of associated MW-UV radiation and only 4.5% in the presence of only MW radiation, both after 240 seconds of reaction. In addition, the spectrophotometric analyzes of the samples irradiated by MW-UV indicated the appearance of degradation products of the herbicide corresponding to atrazine-2-hydroxy and atrazine-desethyl-2-hydroxy compounds.

Key-words: Atrazine; Microwave; Photolysis.

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por produção de alimentos tem impulsionado o uso de agroquímicos nas plantações, a fim de evitar pragas e possibilitar maior produtividade. Por conseguinte, tem havido um aumento significativo na geração de resíduos perigosos, o que vem causando impactos negativos na saúde e no ambiente, destacando em particular o resíduo de pesticidas (MOREIRA et al., 2012; BRASIL, 2013; MARTINS, 2011). A aplicação de herbicidas em solos agrícolas é uma prática estabelecida para controlar o crescimento de ervas daninhas. Os derivados de triazinas representam um grupo notável, cuja utilização aumentou em muitos países nas últimas décadas.

A atrazina (2-cloro-4-etilamino-6-isopropilamino 1, 3, 5-triazina) é um herbicida usado para o pré-controle de ervas daninhas e pós-emergência, particularmente em cultivos de milho, cana-de-açúcar e sorgo (USEPA 2007; JAVARONI et al., 1999), causando contaminação ambiental devido à capacidade de sorção e dessorção do solo e alta persistência (NAKAGAWA & ANDREA 2000; COELHO et al., 2012), especialmente na água, onde o tempo de persistência pode ser superior a 4 anos (DELLAMATRICE et al., 2012). Os problemas de contaminação pela atrazina têm acarretado em uma preocupação mundial cada vez maior, pois além de apresentar alta solubilidade em água, este herbicida é altamente resistente aos métodos convencionais de tratamento de água e esgoto, e de difícil biodegradação, exacerbando os problemas de poluição ambiental.

A exposição prolongada de seres humanos ao herbicida atrazina foi investigada por Cragin e colaboradores resultando em dados alarmantes que advertem sobre os riscos deste à saúde. Por essa razão é considerado um desregulador endócrino, apresentando riscos de afetar a qualidade do sêmen e fertilidade nos homens, bem como de aumentar a probabilidade do câncer de mama em mulheres (CRAGIN et al., 2011). Por conta dessas problematizações as Agências de Proteção Ambiental de vários países do mundo incluíram esta substância em suas respectivas listas de substâncias prioritárias (EC, 2008; USEPA, 2007). No Brasil, a Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde (MS), classifica este herbicida como uma das substâncias químicas que representam risco à saúde. O Valor Máximo Permitido (VMP) de atrazina presente para que a água se enquadre no padrão de potabilidade recomendado é de 2 µg L⁻¹ (BRASIL, 2011).

Um dos processos que vem sendo amplamente estudado para a degradação de compostos químicos altamente tóxicos e persistentes é a oxidação química, que ocorre quando elétrons são removidos de uma substância por meio da utilização de agentes oxidantes, podendo deste modo degradar a substância original a outros

intermediários menos tóxicos (KOMMINENI et al., 2000). Muitos estudos voltados para a degradação de agentes poluentes persistentes, têm sua principal abordagem voltada aos Processos Oxidativos Avançados (POA) (HU et al., 2012; LI et al., 2014; CHEN et al., 2011; ZHANQI et al., 2007; AL-MAYMAN et al., 2017; AL-JOHANI, AL-ZAGHAYER e AL-MAYMAN, 2015; AHMED et al., 2011).

Dentre as técnicas utilizadas nos POA, destacam-se os processos fotolíticos e fotocatalíticos, posto que a interação entre energia (provida dos diferentes tipos de radiações eletromagnéticas) e matéria pode resultar no desencadeamento de reações químicas, em especial a oxidação fotolítica ou fotocatalítica (NOGUEIRA e JARDIM, 1998), conduzindo à mineralização total ou, na maioria das vezes, parcial do contaminante a ser tratado, podendo assim formar produtos de degradação ainda mais tóxicos, como o caso da atrazina. Os principais produtos gerados no processo de degradação deste herbicida são compostos hidroxilados e clorados, dentre eles destaca-se o desetil-atrazina (DEAT), o desisopropil-atrazina (DIAT), a hidroxiatrazina (HAT), o desetil-hidroxiatrazina (DEHAT), e desetil-desisopropil-hidroxiatrazina (DEDIHAT) (PELIZZETTI et al., 1992; ARFINTEGUI et al., 1995; BALESTEROS, 2009; MOREIRA, 2015; KLEMENTOVA e KELTNEROVA, 2015). A estrutura molecular destes compostos está apresentada na tabela 1.

Tabela 1: Produtos de degradação da atrazina e estrutura molecular

Composto	Abreviação	Estrutura Molecular
6-chloro-N-(propan-2-yl)-1,3,5-triazine-2,4-diamine	DEAT	
6-chloro-N-ethyl-1,3,5-triazine-2,4-diamine	DIAT	
4-(ethylamino)-6-(propan-2-ylamino)-1,3,5-triazin-2-ol	HAT	
4-amino-6-(propan-2-ylamino)-1,3,5-triazin-2-ol	DEHAT	
4,6-diamino-1,3,5-triazin-2-ol	DEDIHAT	

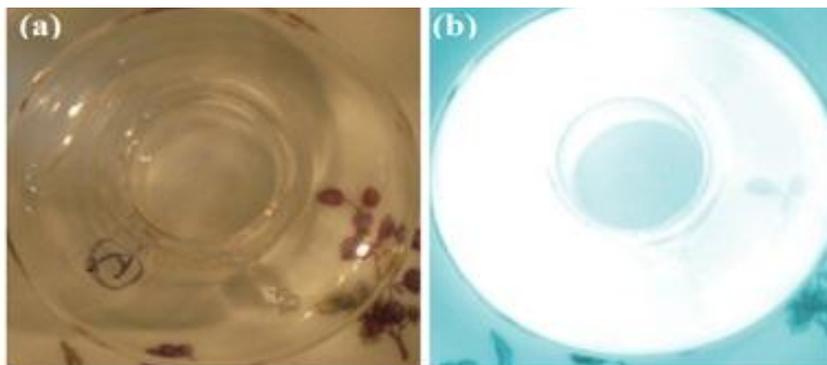
Fonte: Adaptado do trabalho de Moreira, 2015.

Embora a evolução nos Processos Oxidativos Avançados aplicados aos tratamentos de efluentes estejam bem consolidadas, novas tendências que

possibilita melhorar ainda mais essas técnicas está ganhando cada vez mais espaço. Nos últimos anos têm sido publicados diversos estudos abordando sobre a degradação de compostos orgânicos persistentes por meio da incidência de diferentes tipos de radiações eletromagnéticas em processos de fotolíticos e fotocatalíticos (MOREIRA et al., 2016), afim de degradar não só o composto alvo mais também os possíveis produtos gerados. Em meio a estes estudos encontra-se o de Cirkva e Relich (2011), o qual menciona sobre a energia de micro-ondas (MW) ser aplicada para auxiliar em processos fotoquímicos para a degradação de pesticidas.

Segundo Horikoshi e Serpone (2009), a radiação de micro-ondas pode ser efetiva para a degradação fotolítica de substâncias orgânicas quando associada a lâmpadas de descarga sem eletrodo com vapor de mercúrio (EDL-Hg) acionada por radiação MW, resultando a emissão da radiação ultravioleta. A Figura 1a apresenta a lâmpada EDL-Hg em forma de rosca estudada por esses pesquisadores. Observe que o dispositivo não tem eletrodos e nem fios elétricos. Como tal, pode ser livremente moldado dependendo do uso

Figura 1: a) Lâmpada EDL-Hg em forma de rosca, e b) sob irradiação de MW



Fonte: Horikoshi e Serpone (2009).

Quando irradiada por MW tem-se então a ativação do gás no interior da lâmpada, que subsequentemente emite radiação UV (Figura 1b) de vários comprimentos de onda, dependendo apenas da natureza do gás presente no interior da lâmpada (HORIKOSHI e SERPONE, 2009). De acordo com a literatura, estas as lâmpadas, quando irradiadas por MW, permitem uma melhor distribuição da radiação ultravioleta (UV) ao sistema, emitindo 3 vezes mais radiação que as lâmpadas convencionais (CÍRKVA e RELICH, 2011). Sem contar que, é caracterizado por conter baixa contaminação, devido à ausência de eletrodos, garantindo a elas uma vida mais longa (CÍRKVA, 2012).

O uso da radiação micro-ondas associado ao ultravioleta (MW-UV) nos tratamentos fotoquímicos tem tornando os processos ainda mais eficientes para preservação ambiental, uma vez que a união destes dois fatores resulta em uma melhor capacidade de degradar poluentes em um curto período de tempo, originando produtos menos tóxicos ou até inócuos ao meio ambiente. (HU et al. 2012; Li et al., 2014; CHEN et al., 2011; ZHANQI et al., 2007, HE et. al, 2016). Trabalhos recentes têm apresentado resultados significativos na degradação fotocatalítica da atrazina sob radiação MW-UV, em intervalos menores do que 10 minutos de exposição à radiação. Portanto o objetivo deste trabalho é avaliar o uso de diferentes energias (micro-ondas (MW) e radiações (MW-UV)) na degradação

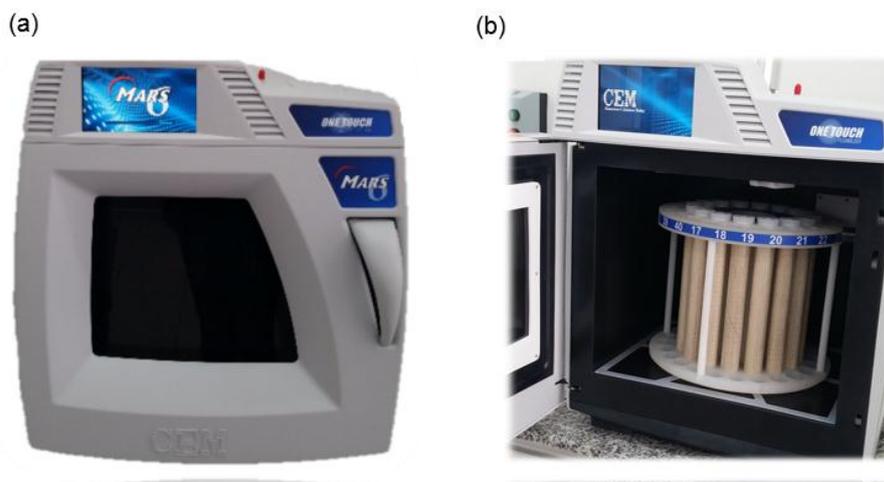
fotolítica da atrazina.

2. METODOLOGIA

2.1 Equipamentos Utilizados

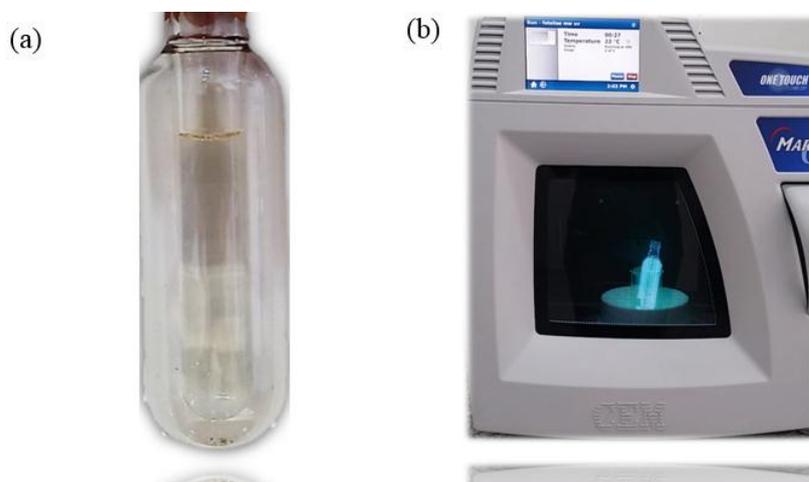
O estudo fotolítico somente na região micro-ondas (MW) foi executado no equipamento MARS 6, um forno micro-ondas laboratorial clássico (CEM Corporation, Matthews, NC, EUA), mostrado na Figura 2a, com 220V de tensão, de 60Hz com frequência de micro-ondas de 2.450 MHz, e com potência fixada em 150 Watts. Acoplado a este equipamento encontra-se um suporte com capacidade para 40 recipientes (porta amostras). Estes recipientes podem ser fechados durante a radiação para evitar possível evaporação de solução, conforme mostrado da Figura 2b. Além disso, este suporte apresenta um encaixe próprio no interior do forno micro-ondas e, por essa razão, é mantido sob rotação para melhor distribuição da radiação.

Figura 2 - a) Aparelho micro-ondas MARS 6 usado nas reações fotolíticas e fotocatalíticas; b) Suporte contendo porta amostras no interior deste equipamento, próprio para análises de MW.



Fonte: Do autor.

Figura 13 - a) Lâmpada EDL-Hg utilizada nas reações MW-UV contendo amostra; b) A mesma lâmpada no interior do forno micro-ondas acionada pela radiação.



Fonte: Do autor

Para a reação fotolítica realizada sob radiações micro-ondas e ultravioleta (MW-UV) foram utilizadas o mesmo equipamento descrito acima em conjunto com uma Lâmpada de descarga sem eletrodo com vapor de mercúrio (EDL-Hg), fornecida pela UMEX GmbH Dresden da Alemanha, acionada por radiação micro-ondas (Figura 3b). No interior desta lâmpada há um compartimento para amostra feita de quartzo, tornando a radiação melhor distribuída ao redor da solução alvo, conforme mostrado na Figura 3a. Os equipamentos usados para monitorar a reação foram um cromatógrafo líquido de alta eficiência (High Performance Liquid Chromatography – HPLC) e um espectrofotômetro UV-Vis.

O espectrofotômetro UV-Vis utilizado é a marca Shimadzu®, modelo UV-1800, equipado com dois compartimentos para cubetas, com lâmpada de tungstênio (para a região do visível) e lâmpada de Deutério (para a região do UV). Além disso, apresenta seleção de comprimento de onda manual e automático, com uma amplitude de 190 a 1100 nm. Para as leituras foram utilizadas cubetas de quartzo, com 1cm de caminho ótico e 3 mL de volume, além de apresentar duas faces polidas, próprio para leitura espectral, e duas faces foscas para manuseio.

O cromatógrafo líquido usado também é da marca da Shimadzu® de injeção automática modelo SIL-20AC, equipado com detector UV/Vis, modelo SPD-10AV. Além disso, este equipamento contém quatro bombas para fase móvel (modelo LC-20AD), podendo ser operado tanto no modo isocrático quanto gradiente, apresenta um forno para o controle da temperatura do sistema (modelo CTO-20A), um degaseificador para evitar a entrada de gás no sistema (modelo CBM-20A).

2.2 Preparo das Soluções

Além do padrão de atrazina (ATZ), foram empregados neste trabalho os padrões de produtos de degradação da atrazina, sendo eles a Desetilatraxina (DEAT), a Desisopropilatraxina (DIAT), a Hidroxiatraxina (HAT), o Desetil-hidroxiatraxina (DEHAT) e o Desetildesisopropil-hidroxiatraxina (DEDIHAT). Todos esses padrões foram fornecidos pela Sigma Aldrich com alto grau de pureza. Para as diluições dos padrões e o preparo das soluções estoque foi empregado o metanol, grau HPLC, concedido pela J.T Baker. No entanto, somente para a diluição do padrão desetildesisopropil-hidroxiatraxina foi necessário também acidificar o meio para melhor dissolução. Para isso foi utilizado o reagente HCl fornecido pela Qhemis- Hexis.

Adicionalmente foram preparadas soluções mais diluídas em água ultrapura contendo 2 mg/L para cada padrão, a partir das respectivas soluções estoques, para determinação do comportamento espectral e dos comprimentos de onda no espectrofotômetro, para que assim possamos identificar dos produtos formados com a reação. Além disso, para realizar os testes de reação com a atrazina foram preparadas soluções sintéticas do herbicida em água ultrapura, com 5 mg/L de concentração, preparadas a partir da solução estoque, pouco antes de realizar a reação.

2.3 Testes Reacionais e Monitoramento das Amostras

Para ensaios fotólise usando MW-UV uma alíquota de 10 mL de solução de atrazina de 5 mg/L foi transferida para a câmara de amostra localizada no interior da lâmpada de descarga de mercúrio eletrodo (mostrada anteriormente na Figura 2a) suportado em becker de vidro de 250 mL. Em seguida todo este sistema foi colocado no interior equipamento para que a radiação micro-onda pudesse ser ligada, ativando a lâmpada, dando início à reação. Para a reação sob radiação de

MW uma alíquota de 10 mL de solução de atrazina de 5 mg/L foi transferida para o recipiente específico do equipamento (já apresentado na Figura 1b), o qual foi fechado e inserido dentro do aparato. Posteriormente a radiação micro-ondas foi acionada dando início a reação.

Após exposição à radiação eletromagnética (MW e MW-UV) nos intervalos de tempo de 120 e 240 segundos, as amostras foram analisadas por espectrofotometria e por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC). A escolha de se trabalhar nesses tempos reacionais foi baseada na literatura, que demonstraram resultados precisos em pouco tempo de reação tanto em MW quanto em MW-UV (ZHANQI et al., 2007; MOREIRA et al., 2016; HU e CHENG et al., 2014; CHEN et al., 2011). As condições do sistema para a execução das reações fotolíticas, tanto para os processos sob radiação MW quanto para os processos sob as radiações associadas MW-UV, estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Condições fixadas durante as reações sob radiação MW e MW-UV.

Volume reacional	10 mL
pH do meio	Natural
Temperatura do reator	≈30 °C
Pressão do reator	Atmosférica
Concentração inicial de atrazina	5 mg/L
Potência do equipamento de MW	150W

Fonte: Do autor.

As leituras em espectrofotômetro foram realizadas para um intervalo de comprimento de onda de 200nm a 300nm. Enquanto que as leituras das amostras em HPLC foram feitas no modo isocrático, com uma coluna C18, com 4.6 x 250 mm de dimensão, 5µm de porosidade, mantida aquecida a 30°, o detector UV/Vis no comprimento de onda em 221 nm, a fase móvel na proporção 60:40 de acetonitrila e água ultrapura com uma vazão de 1mL/min. Esta metodologia foi adaptado do trabalho de Pereira (2011), para quantificação do herbicida durante o monitoramento das reações de degradação.

Antes das análises de todas as amostras submetidas aos processos de degradação do contaminante, propriamente ditas, foi feita a injeção de soluções aquosas diluídas do padrão de Atrazina, preparadas a partir da solução estoque, em diferentes concentrações para construção da curva padrão em modo isocrático. Para tanto foram utilizadas soluções do herbicida em 1, 2, 3, 4, 5 e 10 mg/L.

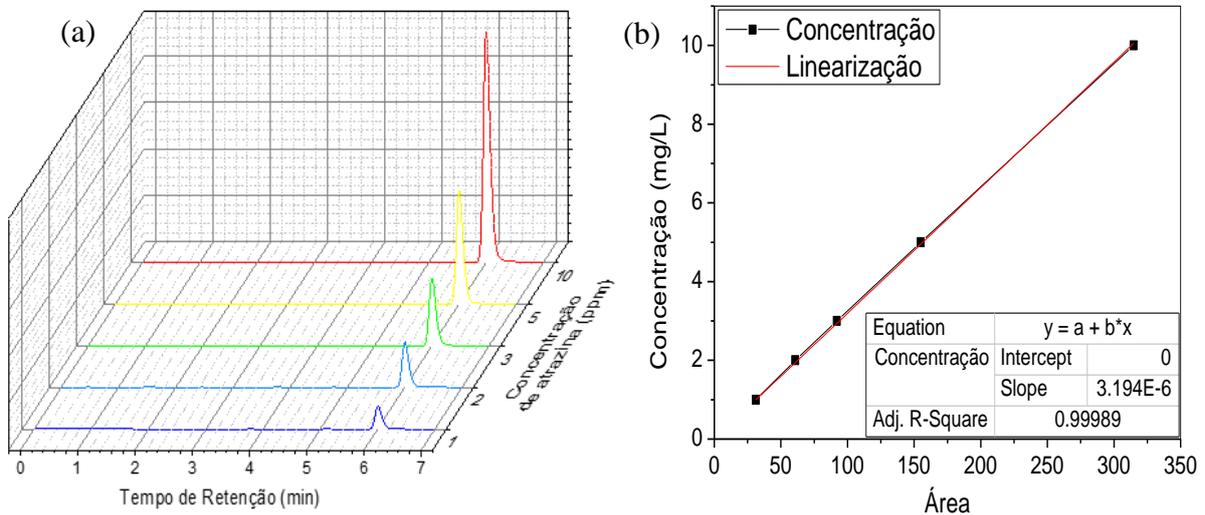
3. DESENVOLVIMENTO

3.1 Curva Padrão e Medidas Espectrais dos Padrões

Para identificação e quantificação da atrazina, durante o processo de degradação, foi construída uma curva padrão de calibração, apresentada na Figura 4. O tempo de retenção determinado para a atrazina durante a calibração foi de 6 min (Figura 4a), o mesmo encontrado por Pereira (2011). Além disso, a curva apresentou uma correlação de 99.98%, dando bastante confiabilidade nos resultados (Figura 4b). A Figura 5 apresenta as varreduras espectrais em uma concentração de 1 mg/L dos padrões avaliados neste trabalho, sendo eles a

atrazina (ATZ), a Desetilatrazina (DEAT), a Desisopropilatrazina (DIAT), a Hidroxiatrazina (HAT), o Desetil-hidroxiatrazina (DEHAT) e o Desetildesisopropil-hidroxiatrazina (DEDIHAT).

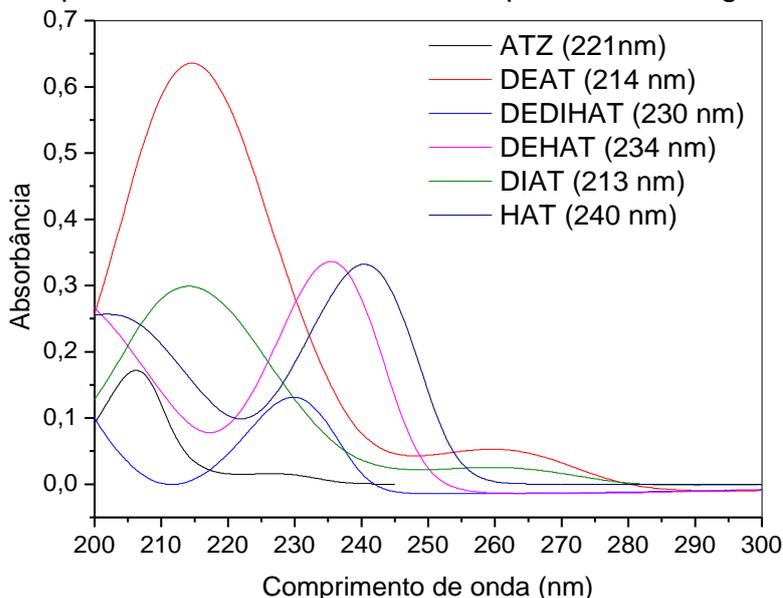
Figura 4: (a) Curva de calibração e, (b) Equação padrão de calibração, para a atrazina.



Fonte: Do autor. Dados experimentais desta pesquisa plotados no software Origin.

Estas identificações se fazem necessárias para auxiliar na o monitoramento da absorvância molecular da atrazina ao longo da reação, pois é possível que ocorra a formação de produtos intermediários resultantes do processo de degradação, e conseqüentemente mudanças de comportamento do comprimento de onda. Estes valores encontrados de comprimento de onda também foram encontrados por outros pesquisadores (MOREIRA, 2015; HÉQUET, GONZALEZ e LE CLLOIREC, 2001; MCMURRAY, DUNLOP e BYRNE, 2006; ARFINTEGUI et al., 1995; LOPES, 2013).

Figura 5 - Identificação de comprimento de onda analítico das soluções aquosas dos padrões de Atrazina e de seus produtos de degradação a 1 mg/L.



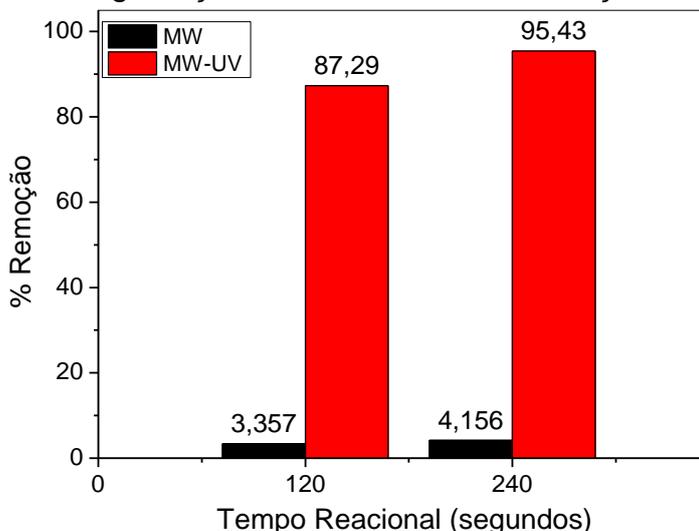
Fonte: Do autor. Dados experimentais desta pesquisa plotados no software Origin

3.2 Fotólise Sob Radiação MW e Radiação Associada MW-UV

Os resultados dos testes de fotólise na presença da radiação micro-ondas (MW), bem como na presença da associação da radiação micro-ondas e ultravioleta (MW-UV), obtidos, a partir do monitoramento em HPLC com o auxílio da curva padrão, estão apresentados na Figura 6. De acordo com estes resultados observa-se que a degradação da atrazina utilizando somente na presença da radiação MW foi praticamente desprezível, evidenciando assim a necessidade da presença do focalizador ou da associação das radiações micro-ondas e ultravioleta neste processo para torna-lo mais eficiente.

A porcentagem de remoção por fotólise ao final dos 120 e dos 240 segundos de reação foi de apenas 3,4 % e 4,2%, respectivamente, mantendo-se praticamente constante para os dois tempos analisados. Estudos encontrados na literatura apontam que a fotólise de contaminantes orgânicos apenas na presença da radiação MW não se mostrou eficiente (CHEN et al., 2011; TA et al., 2006; HONG et al., 2006). Segundo Chen et al. (2011) a radiação MW é insuficiente para romper ligações das moléculas orgânicas. Isso acontece por que a energia da radiação micro-ondas ($E = 0,98 \text{ J.mol}^{-1}$) é consideravelmente inferior à da radiação ultravioleta ($E = 600\text{-}170 \text{ kJ.mol}^{-1}$), logo ela torna-se insuficiente para romper as ligações de moléculas orgânicas comuns em reações de degradação (CÌRKVA, 2012).

Figura 5 - Fotólise na degradação da atrazina sob as radiações MW e MW-UV.



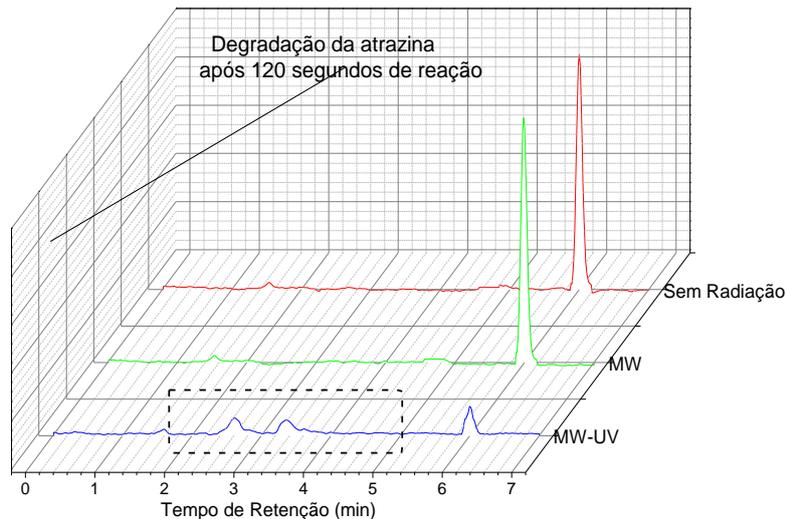
Fonte: Do autor. Dados experimentais desta pesquisa plotados no software Origin.

Enquanto que os dados obtidos nas reações com micro-ondas e radiação ultravioleta (MW-UV) associados apresentaram de fato uma excelente melhora, uma vez que a porcentagem de remoção por fotólise ao final dos 120 e dos 240 segundos de reação, sob radiação MW-UV, foi de aproximadamente 87% e 95%, respectivamente. Resultados similares foram obtidos por Zhanqi e colaboradores (2007) ao estudarem a degradação da atrazina na presença de radiações associadas (MW-UV). Para uma concentração inicial de atrazina de 5 ppm, os autores obtiveram 70% de remoção fotolítica para 5 minutos de reação.

A Figura 7 apresenta o cromatograma, obtido a partir do desenvolvimento da reação de degradação da atrazina, contendo o resultado analisado em após 120 segundos de exposição à radiação MW e MW-UV. O tempo de retenção da atrazina na coluna cromatográfica mostrado da figura está de acordo com o valor encontrado

durante a construção da curva padrão. Por meio deste gráfico é notório redução acentuada do pico da atrazina em apenas 120 segundos de reação sob MW-UV, equivalente aos 87,29% de degradação, enquanto que o pica da amostra irradiada apenas por MW praticamente nem reduz, compatível aos 3,36% de degradação. Este fato evidencia o melhor desempenho na reação realizada na presença de radiações juntas.

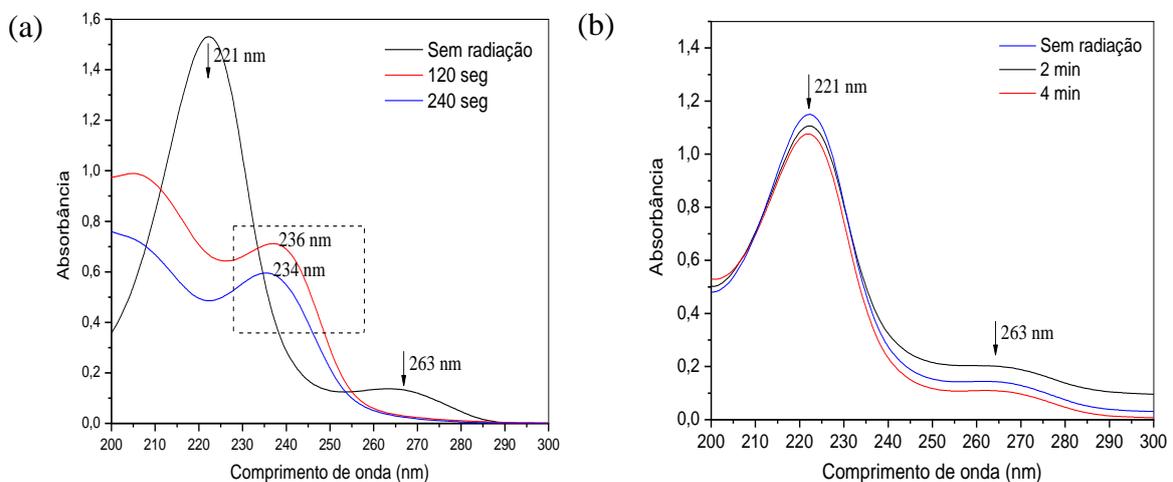
Figura 7 - Cromatogramas das amostras irradiadas pelas radiações MW e MW-UV por 120 segundos.



Fonte: Do autor. Dados experimentais desta pesquisa plotados no software Origin.

Além disso, possível observar a presença de novos picos formados, correspondes aos subprodutos ou intermediários da reação de degradação da atrazina, detectados mais nitidamente somente na amostra irradiada pelas radiações associadas, destacado pelas linhas tracejadas. A Figura 8 apresenta os resultados de varredura espectral, obtida do espectrofotômetro UV-Vis, nos dois tempos analisados.

Figura 8 - Varredura espectral nos tempos 120 e 240 segundos para a reação (a) sob radiação MW-UV, e (b) sob somente a radiação MW.



Fonte: Do autor. Dados experimentais desta pesquisa plotados no software Origin.

De acordo com os resultados apresentados nas Figuras 8a e 8b foi possível perceber a diminuição dos picos característicos da atrazina obtidos nos comprimentos de onda 221nm e 263nm. No entanto somente na Figura 7a foi visível uma mudança no formato e na intensidade das curvas obtidas, indicando o desaparecimento total do herbicida e o surgimento de novos picos em 236 nm e 234 nm, na região delimitada do gráfico, indicando a formação de subprodutos intermediários da reação de degradação, após 120 e 240 segundos de reação, respectivamente.

Segundo os resultados apresentados na Figura 5, referentes aos comprimentos de onda dos padrões analisados, o produto de degradação correspondente ao pico observado no comprimento de onda 234 nm está relacionado à desetil-hidroxiatrazina, já o observado no comprimento de onda 236 nm pode estar associado à mistura de dois produtos de degradação, uma vez que este valor se encontra entre o valor correspondente da hidroxiatrazina e da desetil-hidroxiatrazina. Além disso, pequenos desvios se encontram inseridos em análises qualitativas (MOREIRA et al., 2016).

Estes produtos da reação de degradação da atrazina identificados (hidroxiatrazina, desetil-hidroxiatrazina) são considerados pela literatura como sendo menos tóxicos que a própria atrazina, devido à substituição do halogênio pela hidroxila, e também pela remoção dos radicais alquilas dos compostos hidroxilados (MOREIRA et al., 2016; MARTIN-NETO, VIEIRA e SPOSITO, 1994; EISLER, 1989; MILLS e THURMAN, 1994).

4. CONCLUSÃO

A avaliação dos diferentes processos estudados demonstrou que o sistema fotolítico que utiliza a associação de micro-ondas e radiação UV apresentou melhor desempenho, pois resultou em um maior índice de degradação da atrazina, aproximadamente 87,3% em apenas 120 s, enquanto o resultado obtido com a radiação MW foi praticamente desprezível.

Por meio do monitoramento das amostras reagidas foi possível identificar os produtos formados a partir das por meio das mudanças de comportamento do comprimento de onda do contaminante principal, a partir dos comprimentos de onda máxima absorção encontrados com a análise dos padrões. Isso contribuiu significativamente para a tentativa de entender o comportamento do herbicida no meio ambiente. Por conta disso, foram identificados produtos de degradação hidroxilados, que são considerados pela literatura como compostos menos tóxicos que a atrazina.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro fornecido durante todo o período da pesquisa, bem como à Universidade Estadual de Alfenas (UNIFAL) e à Universidade Estadual de Maringá (UEM), pelo apoio técnico.

REFERÊNCIAS

AHMED, S; RASUL, M.; BROWN, R.; HASHIB, M. Influence of parameters on the heterogeneous photocatalytic degradation of pesticides and phenolic contaminants in wastewater: a short review. **Journal of Environmental Management**, v. 92, n. 3, p. 311-330, 2011.

AL-JOHANI, M. S.; AL-ZAGHAYER, Y. S.; AL-MAYMAN, S. I. TiO₂/ ZnO Photocatalytic Activity for Hydrogen Production. **International Scientific Journal Environmental Science**, v. 4, n. 1, 2015.

AL-MAYMAN, S. I.; AL-JOHANI, M.; MOHAMED, M. M.; RAMAY, S. M.; AL-AWADI, A. S.; AL-ZEGHAYER, Y. S.; SOLIMAN, M. TiO₂-ZnO photocatalysts synthesized by sol-gel auto-ignition technique for hydrogen production. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 42, p. 5016 - 5025, 2017.

ARFINTEGUI, J.; PRADO, J; CHAMARRO, E; ESPLUGAS, S. Kinetics of the UV degradation of atrazine in aqueous solution in the presence of hydrogen peroxide. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, v. 88, n. 1, p. 65-74, 1995.

BALESTEROS, M. R. Desenvolvimento e otimização de metodologia para análise de atrazina e seus produtos de degradação por cromatografia líquida de alta eficiência e eletroforese capilar. **Universidade Federal de Juiz de Fora**. Juiz de Fora. 2009.

BRASIL, **Portaria nº 2914 de 12 de Dezembro de 2011**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância, 2011.

BRASIL, **Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde**. Monitoramento de agrotóxicos na água para consumo humano no Brasil 2011, n. 44, 2013.

CHEN, H.; YANG, S.; YU, K.; CHENG, S. Effective Photocatalytic Degradation of Atrazine over Titania-Coated Carbon Nanotubes (CNTs) Coupled with Microwave Energy. **The Journal of Physical Chemistry A**, v. 115, n. 14, p. 3034-3041, 2011.

CHEN, Y.; ZHANG, C.; HUANG, W.; YANG, C.; HUANG, T.; SITU, Y.; HUANG, H. Synthesis of porous ZnO/TiO₂ thin films with superhydrophilicity and photocatalytic activity via a template-free sol-gel method. **Surface & Coatings Technology**, v. 258, p. 531-538, 2014.

ČIRKVA, V.; RELICH, S. Microwave Photochemistry and Photocatalysis. Part 1: Principles and Overview. **Current Organic Chemistry**, v. 15, n. 3, p. 248-264, 2011.

ČIRKVA, V. Microwaves in Photochemistry and Photocatalysis. In: DE LA HOZ, A.; A., L. **Microwaves in Organic Synthesis**, 3ª Edição, v. 1, 2012. Cap. 14, p. 563-605.

COELHO ERC, VAZZOLER H, LEAL W. P., Using activated carbon for atrazine removal from public water supply. **Revista Engenharia Sanitária**, v. 17, n. 4, p.421–428, 2012.

CRAGIN, L. A.; KESNER, J. S.; BACHAND, A. M.; BARR, D. B.; MEADOWS, J. W.; KRIEG, E. F.; REIF, J. S. Menstrual cycle characteristics and reproductive hormone levels in women exposed to atrazine in drinking water. **Environmental Research**, v. 111, n. 8, p. 1293-1301, 2011.

DELLAMATRICE, P. M., COSTA, L. S., MARQUES, A. S., VIANA, M. S., ARAÚJO R. S., Degradação de agrotóxicos por fungos Basidiomicetos em solo agrícola

contendo altos níveis de três produtos diferentes. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v. 22, p. 7–16, 2012.

EC. Directive 2008/105/EC of the European Parliament and of the council. **Official Journal of the European Union**, 2008.

EISLER, R. **Atrazine hazards to fish, wildlife and invertebrates: a synoptic review**, v. 85, p. 1-18, 1989.

HE, Y., CHENG, H., Degradation of N-Nitrosodimethylamine (NDMA) and its precursor Dimethylamine (DMA) in mineral micropores induced by microwave irradiation. **Journal Water Research**, v. 94, p. 305–314, 2016.

HÉQUET, V.; GONZALEZ, C.; LE CLLOIREC, P. Photochemical processes for atrazine degradation: methodological approach. **Journal Water Research**, v. 35, n. 18, p. 4253-4260, 2001.

HONG, J.; SUN, C.; YANG, S-G.; LIU, Y-Z. Photocatalytic degradation of methylene blue in TiO₂ aqueous suspensions using microwave powered electrodeless discharge lamps. **Journal of Hazardous Materials**, v. 133, p. 162–166, 2006.

HORIKOSHI, S.; SERPONE, N. Photochemistry with microwaves: catalysts and environmental applications. **Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews**, v. 10, n. 2, p. 96–110, 2009.

HU, E.; CHENG, H.; HU, Y. Microwave-induced degradation of atrazine sorbed in mineral micropores. **Environmental Science Technology**, v. 46, n. 9, p. 5067–5076, 2012.

JAVARONI, A. C. R.; LANDGRAF, D. M.; REZENDE, O. O. M. Comportamento dos Herbicidas Atrazina e Alaclor aplicados em solo preparado para o cultivo de cana-de-açúcar. **Química Nova**, v. 22, n. 1, 1999.

KLEMENTOVA, S.; KELTNEROVA, L. Chapter 4: Triazine Herbicides in the Environment. In: PRICE, A.; KELTON, J.; SARUNAITE, L. **Herbicides, Physiology of Action, and Safety**, p. 73-96, 2015.

KOMMINENI, S; ZOECKLER, J; STOCKING, A; LIANG, S; FLORES, A; KAVANAUGH, M. Advanced Oxidation Processes. In: PARTNERSHIP, C. M. R. **Treatment Technologies for Removal of Methyl Tertiary Butyl Ether (MTBE) from Drinking Water**. 2^oed., p. 109-208, 2000.

LOPES, O. F., Síntese e caracterização de nanopartículas de Nb₂O₅ e estudo de suas propriedades fotocatalíticas. **Universidade Federal de São Carlos**. São Carlos. 2013.

Martins, L. M., ESTUDO DA APLICAÇÃO DE PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS VISANDO O SEU REÚSO. Dissertação de Mestrado – Desenvolvimento e Meio Ambiente. **Universidade Federal do Piauí**, Terezinha, 2011.

MARTIN-NETO, L.; VIEIRA, E. M.; SPOSITO, G. Mechanism of Atrazine Sorption by Humic Acid: A Spectroscopic Study. **Environmental Science and Technology**, v. 28, n. 11, p. 1867-1873, 1994.

MCMURRAY, T.; DUNLOP, P.; E BYRNE, J. The photocatalytic degradation of atrazine on nanoparticulate TiO₂ films. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: chemistry**, v. 182, n. 1, p.43-51, 2006.

MILLS, M. S.; THURMAN, E. M. Preferential dealkylation reactions of s-triazine herbicides in the unsaturated zone. **Environmental Science and Technology**, Washington, v. 28, n. 4, p. 2296-2300, 1994.

Moreira, J. C., Peres, F., Simões, A.C., Pignati, W. A., Dores, E. C., Vieira, S. N., Strussman, C., Mott, T., Contaminação de águas superficiais e de chuva por agrotóxicos em uma região do estado do Mato Grosso, **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 17, p. 1557– 1568, 2012.

MOREIRA, A. J. Emprego de diferentes energias em conjunto com nano-materiais para degradação de Atrazina. **Universidade Federal de Alfenas**. Poços de Caldas. 2015.

MOREIRA, A. J.; PINHEIRO, B. S.; ARAÚJO, A. F.; FRESCHI, G. P. G. Evaluation of atrazine degradation applied to different energy systems. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 18, p. 18502-18511, 2016.

Nakagawa, L. M., De Andréa, M. M., Degradação e formação de resíduos não-extraíveis ou ligados do herbicida atrazina em solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.8, p.1509-1515, ago. 2000.

NOGUEIRA, R. F. P.; JARDIM, W. F. A Fotocatálise heterogênea e sua aplicação ambiental, **Química Nova**, v. 21, p. 69-72, 1998.

PELIZZETTI, E; CARLIN, V; MINERO, C; PRAMAURO, E; VINCENTI, M. Degradation pathways of atrazine under solar light and in the presence of TiO₂ colloidal particles. **The Science of the Total Environment**, v. 123, p. 161-169, 1992.

PEREIRA, S. V. Degradação da atrazina pelos processos UV/H₂O₂ e ozônio, identificação dos intermediários e avaliação da atividade estrogênica. **Universidade Federal do Rio de Janeiro**, 2011.

TA, N.; HONG, J.; LIU, T.; SUN, C. Degradation of atrazine by microwave-assisted electrodeless discharge mercury lamp in aqueous solution, **Journal of Hazardous Materials**, v. 138, n. 1, p. 187-194, 2006.

USEPA. **United States Environmental Protection Agency. Chemical Summary, Atrazine**, U.S. EPA, Toxicity and Exposure Assessment for Children's Health, 2007.

ZHANQI, G.; SHAOGUI, Y.; NA, T.; CHENG, S. Microwave assisted rapid and complete degradation of atrazine using TiO₂ nanotube photocatalyst suspensions. **Journal of Hazardous Materials**, v. 145, p. 424–430, 2007.

O USO INDUSTRIAL DE MACHINE LEARNING COMO IMPULSIONADOR DE CONFIABILIDADE E SEGURANÇA



Allan Fernando de Oliveira¹ Bruno de Oliveira Chagas¹ Julio Marcos Gomes Ribeiro¹
Thomas Ricardo Wolski¹ Harrisson Andretta de Moraes²

RESUMO

Em 1959, o machine learning foi definido como o campo de estudo que dá aos computadores a habilidade de aprender sem serem explicitamente programados. Hoje, o conceito evoluiu, os processamentos de aprendizado de máquina têm como objetivo derivar modelos preditivos a partir de dados atuais e históricos. Aplicações de machine learning na manutenção preditiva resultam em benefícios como: maior disponibilidade e confiabilidade dos bens, redução da perda de capital e redução do gasto com operação. E tudo isso, graças a quarta revolução tecnológica industrial ou como é comumente conhecida Indústria 4.0 que impulsiona previsões como, por exemplo, até o ano de 2025, mais da metade da computação será baseada em nuvem. Sobre esse ponto de vista, este estudo busca realizar uma breve discussão ressaltando os principais conceitos que envolvem a manutenção industrial e o uso de tecnologias como o machine learning que possibilita o monitoramento de equipamentos em tempo real, como também citar estudos de casos em que a tecnologia revolucionou a forma de operar.

Palavras-chave: Manutenção preditiva; Dados; Sensor; Máquina.

ABSTRACT

In 1959, machine learning was defined as the field of study that gives computers the ability to learn without being explicitly programmed. Today, the concept evolved, the machine learning process aims to derive predictive models from current and historical data. Applications of machine learning in predictive maintenance result in benefits such as: greater availability and reliability of assets, reduction of capital loss and reduction of operating expenses. All of this is thanks to the fourth technological industrial revolution or as it is commonly known Industry 4.0 that propels forecasts, for example, by 2025, more than half of the media will be cloud-based. About this point of view, this study aims to realize a brief discussion of the main concepts that involves industrial maintenance and the use of technology such as the machine learning which make possible to keep real time track of the equipment's, and cite studies of cases that the technology revolution resulted in a new way of working.

Keywords: Predictive maintenance; Data; Sensor; Machine.

¹Acadêmicos do curso de Engenharia Química da FATEB – e-mail: <allan.f.oliveira@icloud.com><brunochagas30@gmail.com><julio.marcos7@outlook.com><thomas.wolski@outlook.com.br>.

²Bacharel em Sistemas de Informação, pós-graduado em Engenharia de Software e Educação à Distância – e-mail: <harri_moraes@hotmail.com>.

1. INTRODUÇÃO

Não é novidade que grande parte dos gastos das indústrias são resultantes de máquinas paradas devido a falhas mecânicas ou por manutenções corretivas que consistem nas formas mais primitivas de manutenção. Podendo ser associadas a falta de manutenção preditiva e preventiva (SLACK et al., 2009). A manutenção corretiva acaba resultando numa baixa confiabilidade do produto e também diminuição da vida útil dos equipamentos. A manutenção preventiva, diferentemente da corretiva, visa parar o equipamento antes que o mesmo possa vir apresentar falhas. Isso pode levar a duas situações problemáticas: A intervenção precoce do equipamento, parando o mesmo sem necessidade. Ou a intervenção tardia, resultando na quebra do equipamento por falha na data da prevenção do mesmo (KARDEC, 2013).

Visando evitar tais problemas, é feito o uso da manutenção preditiva que consiste na coleta e análise de dados prevenindo equipamentos de maiores desgastes e perda de tempo. Esse tipo de manutenção possibilita saber quando um aparelho pode vir apresentar falha (XENOS, 2014).

Para Fernandes (2013), cada tipo de manutenção tem a sua importância e aplicação dependendo do objetivo final. As tecnologias aplicadas em cada uma delas aumentam exponencialmente sendo que a eficiência acompanha esse aumento. O consumidor final é quem mais ganha com toda essa preocupação envolvendo quebras ou falhas mecânicas.

Os avanços na computação em nuvem remodelam a indústria em um modelo de negócios econômico escalável, sob demanda, orientado a serviços e altamente distribuído. Porém, para mover para esse modelo de negócios as organizações precisam fazer a transformação digital (GAMA, 2017).

Diante da quarta revolução tecnológica industrial, o que outros autores chamam de indústria 4.0, será apresentado uma pesquisa literária que engloba os tipos de manutenção, em especial a preditiva, que possui uma evolução de destaque quando fala-se em monitoração de variáveis. Pois em conjunto com as tecnologias de informação tornou possível acompanhar o funcionamento de um equipamento ou sistema em tempo real.

2. METODOLOGIA

Este trabalho é uma pesquisa básica sobre os tipos de manutenção, machine learning, como é criado um algoritmo de machine learning e os benefícios que essa tecnologia traz à área de manutenção industrial, a abordagem dos dados será de forma quantitativa. Com a intenção de alcançar o principal objetivo deste trabalho que é demonstrar os benefícios que o uso do machine learning pode trazer para a indústria, as pesquisas serão realizadas de forma bibliográfica.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1 Manutenção Industrial

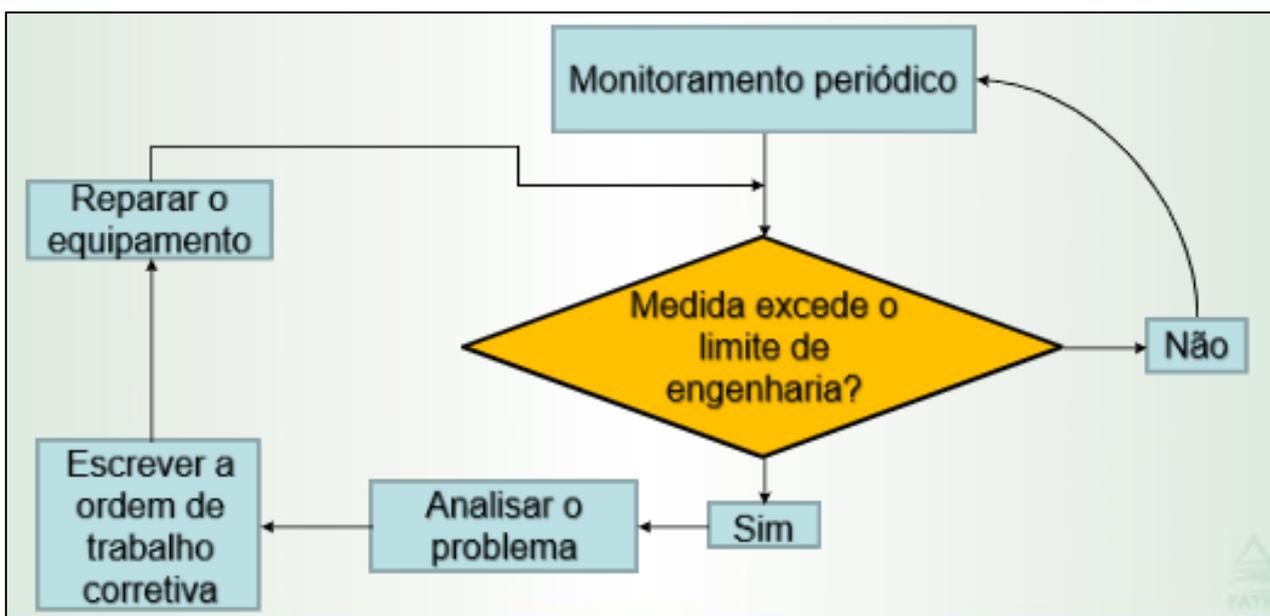
A função principal da manutenção é evitar a deterioração prematura dos equipamentos, instrumentos ou das instalações proporcionando o prolongamento máximo da sua vida útil (KARDEC et al., 2013). Para a NBR 5462:1994 e Slack et al. (2009), as principais atividades de atuação de manutenção são a corretiva, preventiva e preditiva. A alta competitividade exige que as empresas mantenham seus processos produtivos atrelados a um ou vários sistemas de manutenção,

visando-os sempre como prioridade por estarem diretamente ligados ao seu produto final (DE ASSIS et al., 2016). Além do fato de máquinas e equipamentos estarem em constante desenvolvimento tecnológico e dependendo disso, as empresas necessitam de uma abordagem mais eficaz de manutenção do que as atividades de manutenção tradicionais (XENOS, 2014).

Juntamente com os avanços da tecnologia da informação, fizeram com que a manutenção preditiva, também chamada de manutenção baseada em condição, ganhasse uma grande importância. Permitindo que seja possível prever quando um equipamento apresentará falha com base numa série de parâmetros combinados analisados pelo seu histórico de funcionamento. Essa possibilidade levou à expansão destas abordagens nos domínios industriais, já que agrega confiabilidade às máquinas (GAMA, 2017).

Segundo Fernandes (2013), a implementação de manutenção preditiva em um equipamento deve seguir o ciclo conforme figura 1.

Figura 1 – Ciclo da manutenção preditiva em equipamentos



Fonte: Fernandes, 2013

A implementação de manutenção preditiva em determinado equipamento é um processo complexo e que deve obedecer a certas linhas orientadoras para que a eficiência da manutenção seja alcançada (FERNANDES, 2013).

3.2 Avanços Tecnológicos

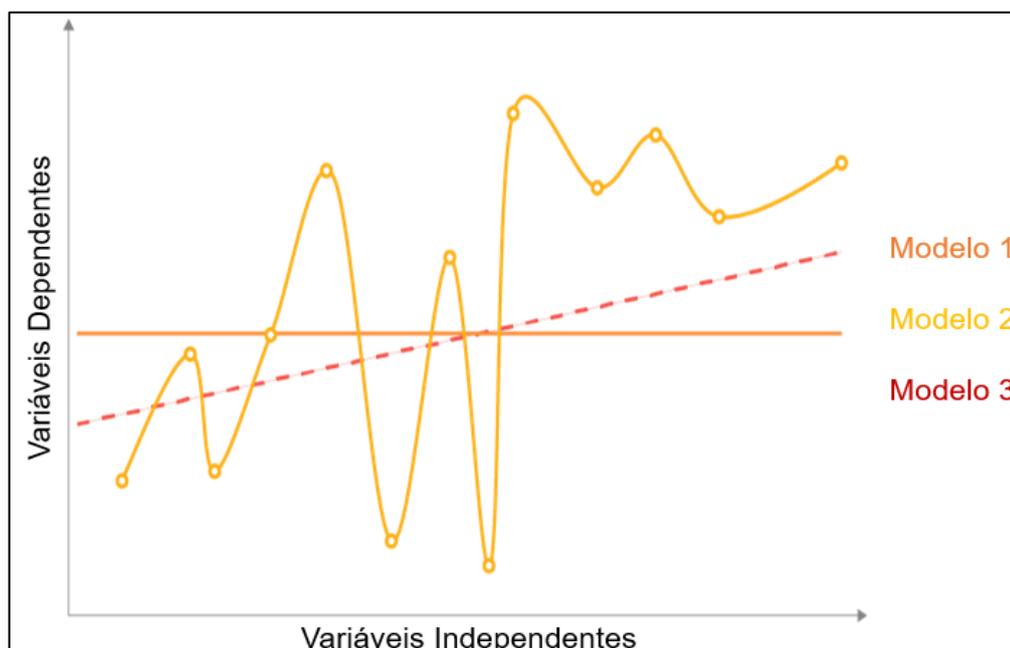
Em 1959, o machine learning foi definido como o "campo de estudo que dá aos computadores a habilidade de aprender sem serem explicitamente programados" (GAMA, 2017). Hoje, o conceito evoluiu, os processamentos de aprendizado de máquina (machine learning) têm como objetivo derivar modelos preditivos a partir de dados atuais e históricos. Um algoritmo aprendido melhorará com mais treinamento ou experiência em particular, usando modelos treinados a partir de grandes conjuntos de dados (SIMON, 2013).

A previsão para o ano de 2020 é de que, ao menos 1 milhão de novos

dispositivos estejam conectados a cada hora. A conectividade entre pessoas e dados está criando bilhões de novos relacionamentos que são orientados não só por dados, mas também por algoritmos que mantêm os clientes envolvidos e comprando, acelerando a economia (WOODS, 2015). Além disso, até o ano 2025, mais da metade da computação será baseada em nuvem, devido as mudanças fundamentais no setor de TI (EMERSON, 2014). As organizações estão buscando aprender como funcionam os modelos de aprendizagem de máquinas para tirar benefícios deles (GAMA, 2017).

A importância de se encontrar um modelo de dados “correto” para o método de machine learning é vital, visto que só um número muito grande de dados não é o bastante para se treinar uma máquina. Os dados precisam ser filtrados para focar nos fatores que influenciam no comportamento da máquina, como por exemplo, a condição de trabalho da mesma (BHATTACHARYA, 2017). A figura abaixo demonstra três modelos de machine learning com diferentes bancos de dados.

Figura 2 – Relação de variáveis dependentes por variáveis independentes



Fonte: Bhattacharya, 2017

O modelo 1 da figura acima, linha horizontal laranja, é um modelo muito simples e com uma variação de dados muito alta para ser considerado bom modelo de machine learning. Já o modelo 2, de cor amarela, é muito complexo e possui dados de treino em demasia, não sendo conveniente seu uso para aparelhos que não requeiram extrema precisão. O modelo 3, linha tracejada, pode ser considerado um bom modelo de ponto de partida, pois possui um equilíbrio entre os dados e o nível de complexidade de operação (BHATTACHARYA, 2017).

3.2.1 Machine Learning na Área de Manutenção Preditiva

Como a manutenção preditiva utiliza dados baseados no tempo fornecidos pelos sensores do maquinário da indústria para prever quando o aparato precisará de manutenção, métodos envolvendo machine learning vêm sendo utilizados por

algumas indústrias. Métodos que envolvam machine learning consistem em uma forma de inteligência artificial (I.A.) onde os computadores aprendem a detectar padrões complexos analisando grande bancos de dados (BHATTACHARYA, 2017).

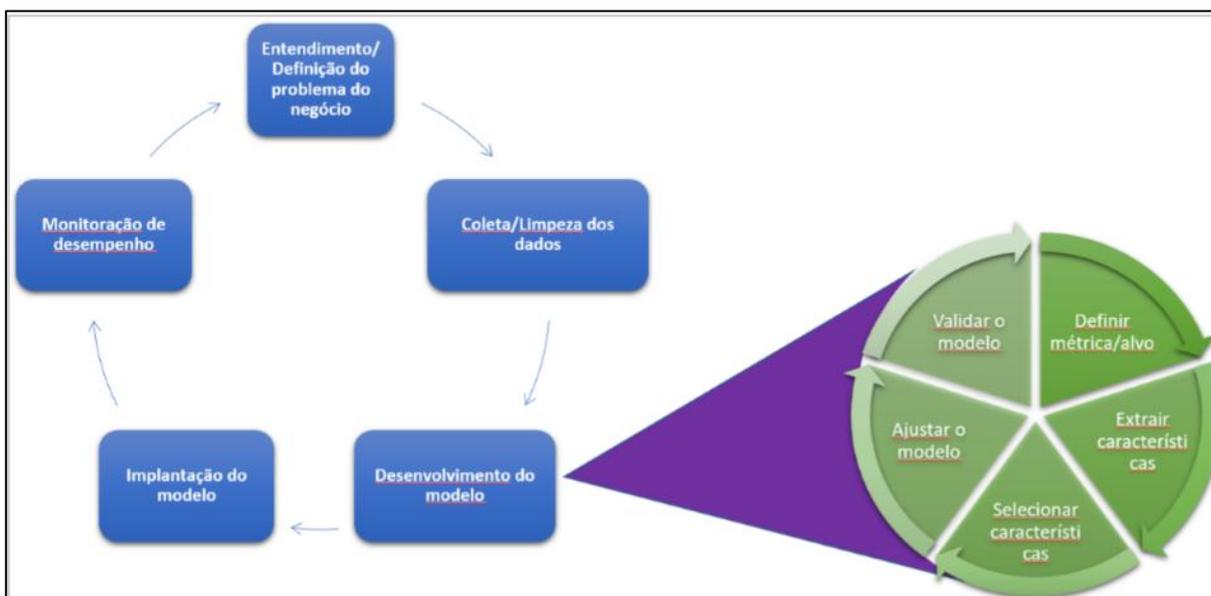
O aproveitamento dos dados da planta é essencial a qualquer modelo ou estratégia de manutenção preditiva, principalmente nos equipamentos mais críticos para o funcionamento da indústria. Busca-se estabelecer diagnósticos e prognósticos de falhas nos equipamentos e as possíveis sugestões de tarefas de manutenção (GAMA, 2017).

Aplicações do machine learning nessa área resultam em benefícios como maior disponibilidade e confiabilidade dos bens, redução da perda de capital e redução do gasto com operação (BHATTACHARYA, 2017).

3.2.2. Montando um Modelo Preditivo

GAMA em 2017, montou um diagrama baseado nas definições de NOGARE e ZAVASCHI (2016) para construção de modelos preditivos, conforme figura 3.

Figura 3 - Metodologia para construção de modelos preditivos



Fonte: Gama, 2017

Este processo é cíclico e começa com a identificação do problema na área solicitante nesse passo é importante estar bastante atento, pois a partir da identificação do problema que o modelo ideal será buscado. É importante dividir o projeto em partes menores para que os solicitantes possam acompanhar a evolução do projeto (NOGARE e ZAVASCHI, 2016; GAMA, 2017).

A próxima etapa é a coleta e limpeza de dados. Na coleta é importante que o dado correto seja adquirido de forma eficiente, já que os dados brutos podem ter diferentes origens (bases de dados da empresa, dados de sensores de telemetria, dados originais de serviços de marketplace, dentre outros). Além disso, a limpeza dos dados é fundamental para que a criação do modelo seja efetiva. Com os dados preparados é possível começar o desenvolvimento do modelo preditivo, que é a fase mais interessante, pois é necessário enfrentar o desafio de encontrar o algoritmo correto para resolver o problema apresentado no primeiro passo pela área de

negócios (GAMA, 2017).

Após o desenvolvimento, o modelo é implementado, ou seja, publicado para ser utilizado com dados reais, onde é esperado que os dados reais encontrem retornos como foram encontrados nos dados testados, mostrando o quanto o algoritmo foi bem desenvolvido e ajustado para resolver os problemas reais. Por fim deve-se monitorar a performance do modelo criado, visto que as ações são baseadas em métodos estatísticos e matemáticos e terão melhoras a cada vez que mais dados forem inseridos. O processo volta ao passo inicial que é identificar o problema com a área solicitante e entra em um loop sempre melhorando a cada iteração (NOGARE e ZAVASCHI, 2016).

3.3 Estudos Realizados

Em 2017, Gama, realizou um estudo de caso na empresa PETROBRAS, onde a operação e o sistema de monitoração passaram por uma transformação digital. Foi introduzido o conceito de manutenção preditiva juntamente com um modelo de machine learning que prevê se ocorrerá ou não uma falha, com base em dados de sensores que não são os da empresa. O modelo de manutenção preditiva previu a probabilidade de falha prevista nas etapas com 94 % de acurácia, porém a precisão foi de apenas 40%. Segundo Gama, as análises preditivas requerem uma quantidade significativa de dados de treinamento que incluam bastante cenários de falha, que não era o caso do dataset utilizado (que tinha apenas 1567 observações com ocorrência de 104 falhas). Como as falhas são raras, as coletas de dados podem demorar muito.

Em 1996, Solberg, utilizou tecnologia machine learning para criar um classificador de imagens via satélite, com o objetivo de identificar manchas de óleo na superfície do mar. Justificando que a tecnologia proporcionaria uma ampla vantagem em relação ao tempo, pois o sistema faria a classificação de várias imagens em apenas alguns segundos, enquanto para uma pessoa demoraria muito mais, devido ao fato de ser apenas uma imagem por vez. Os resultados obtidos por ele através do classificador, foi de 86 % de acurácia para imagens identificadas com manchas de óleo e 96 % de acurácia para imagens identificadas sem manchas de óleo. Em 1998, Kubat et al., repetiram o estudo realizado por Solberg, porém chegaram a resultados inferiores, a justificativa foi de que o dataset utilizado por eles era menor do que o do estudo realizado por Solberg.

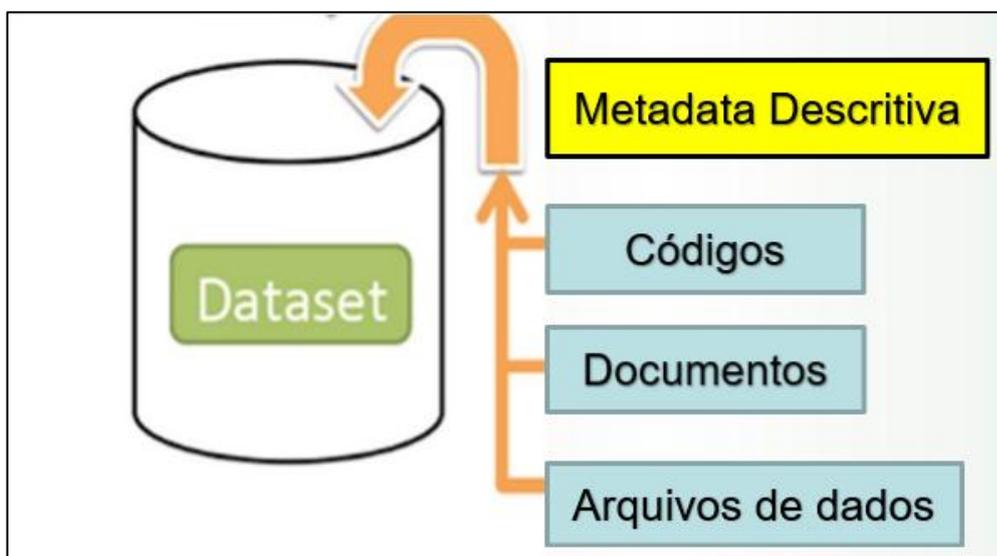
Em 2017, Huang et al., compararam a performance de dois algoritmos para desenvolver um modelo de predição da qualidade da polpa produzida industrialmente. Os dois algoritmos analisados e comparados foram o RBCGA e o ANFIS. O algoritmo escolhido para esta pesquisa foi o ANFIS. As pesquisas demonstraram que a variável mais relevante para predizer o brilho ISO é a carga de peróxido, seguida da média L e H, que refinam o modelo aumentando a precisão e re-produtividade. Huang et al. sacrificaram a simplicidade até certo ponto do modelo de machine learning devido ao mesmo necessitar de algumas regras fuzzy acima do planejado. Mas isso facilitou o mecanismo de dedução que descreve o brilho ISO e aumentou a eficiência na determinação da quantidade de agente de branqueamento necessária. Segundo Huang et al. outras variáveis de processo e propriedades do cavaco foram consideradas menos importantes e irrelevantes. Os autores concluíram que uma simples câmera RGB pode ser utilizada para a predição do brilho ISO e a performance é evidentemente satisfatória em termos de precisão e simplicidade.

No ano de 2016, a empresa Airbus Defence & Space que fornece grande gama de dados comerciais de observação do planeta Terra, utilizou machine learning fornecido pela engine da Google chamada Google Cloud machine learning. De acordo com Mathias Ortner o uso de machine learning aumentou a precisão e a velocidade de correção de anomalias visuais captadas pelo satélite da empresa, solucionando um problema que ocorria há décadas.

3.3.1 Datasets

Segundo o Dataverse Project (2018), um dataset funciona como um local de armazenamento para dados, documentação e códigos. A figura a seguir demonstra o diagrama de um dataset.

Figura 4 – Diagrama esquemático de um Dataset



Fonte: Dataverse, 2018

A coleta de informações para um dataset é o primeiro passo para criar um modelo de machine learning. De acordo com Kotsiantis (2007), um dataset pode ser obtido de uma maneira rústica caso não haja algum especialista da área para fornecer quais dados são importantes para o dispositivo. Esse modo rústico de se obter as informações é chamado de método da força bruta. Este método consiste na obtenção de todos os dados medidos com a finalidade de que os dados corretos, ou seja, informativos e relevantes possam ser isolados. Dados obtidos pelo método da força bruta contém na maioria dos casos problemas como falta de valores chaves e valores impossíveis, por isto, estes dados requerem um pré-processamento intenso (KOTSIANTIS, 2007; QUINLAN, 2014). Segundo os autores, os seguintes erros podem acontecer na coleta de dados:

- Valores impossíveis ou improváveis foram coletados.
- Nenhum valor foi coletado.
- Valores irrelevantes presentes nos dados finais.

Um dos métodos usados em casos de valores chaves desconhecidos é o método da fonte do “desconhecimento”. O método é utilizado nos seguintes casos:

- Um dado está faltando porque foi perdido ou esquecido;
- Certa característica não é utilizada em dada instância, ou seja, não existe nesta instância;
- Para dada observação o designer do set de treinamento não deseja o valor de certa característica, esses valores são chamados de valores irrelevantes.

Dependendo das circunstâncias, os pesquisadores têm um número de métodos a disposição para trabalhar com a falta de dados (BATISTA e MONARD, 2003; QUINLAN, 2014).

4. CONCLUSÃO

Diante da abordagem teórica sobre machine learning e sua importância na manutenção preditiva que alavancou tanto a confiabilidade de processos por proporcionar um monitoramento em tempo real de variáveis e equipamentos inclusos nos processos industriais, diminuindo exponencialmente os riscos de quebras ou falhas mecânicas, e que conseqüentemente, diminui também o prejuízo capital da indústria, tudo isso, devido à grande evolução da tecnologia de informação que possibilitou a aplicação no ramo industrial, fica evidente a vantagem que a quarta revolução industrial traz para o setor industrial, agregando em vários aspectos desde a segurança para operação, como também em pequenas atividades rotineiras, poupando muitas vezes tempo já que a máquina consegue operar e tomar decisões de uma forma melhor e autônoma.

Os estudos citados nessa pesquisa mostraram a importância de se ter um dataset bem treinado já que sua eficiência atua de forma proporcional. Embora, o machine learning faça a coleta de dados em tempo real e os armazene para serem analisados, concluindo assim um ciclo de aprendizado, pode levar algum tempo para que o algoritmo venha a funcionar com mais precisão, visto que com mais tempo de operação o algoritmo tende a se aprimorar de maneira autônoma, aumentando assim a sua eficácia.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Faculdade de Telêmaco Borba – FATEB pelo apoio e incentivo à pesquisa acadêmica.

REFERÊNCIAS

BATISTA, G.; MONARD, M.C. **An Analysis of Four Missing Data Treatment Methods for Supervised Learning**. Applied Artificial Intelligence, 2003, v. 17, p. 519-533.

BHATTACHARYA, K.; CRESCI, J.; LORTIE, P. **Machine Learning: A Turning Point for Predictive Maintenance?** Marsh & MacLennan companies. 2017. Disponível em <http://www.oliverwyman.com/content/dam/oliverwyman/v2/publications/2017/sep/Predictive_Maintenance.pdf>. Acesso em 01 de junho de 2018.

DATAVERSE. **Dataset + File Management**. Disponível em: <<http://guides.dataverse.org/en/latest/user/dataset-management.html>>. Acesso em 03 de setembro de 2018.

DE ASSIS, R. B.; JÚNIOR, B. F. S.; FEITOZA, J. D. S. **Planejamento e controle da manutenção**. *Anais do VIII SIMPROD*. 2016.

EMERSON. **“Data Center 2025: Exploring the Possibilities”**. Emerson Network Power. Disponível em <<http://www.missioncriticalmagazine.com/ext/resources/whitepapers/Data-Center2025-Report.pdf>>. Acesso em 01 de junho de 2018.

FERNANDES, C. M. G. **Aplicação de técnicas de manutenção preditiva aos equipamentos de uma central hidroelétrica**. 2013. Tese de Doutorado. Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/26535/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o_CesarFernandes_2013.pdf>. Acesso em 03 de setembro de 2018.

GAMA, A. L. F. **O Uso De Machine Learning Na Implementação De Manutenção Preditiva Em Usinas Termelétricas**. 2017. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

HUANG, C.W. et al. **Comprehensive model optimization in pulp quality prediction: a machine learning approach**. Peerj Preprints. Jan. 2017, 5:e2749, v. 1.

KARDEC, A; NASCIF, J. **Manutenção: função estratégica**. 4. rev. e ampl. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2013.

KOTSIANTIS, S. B.; **Supervised Machine Learning: A Review of Classification Techniques**. Emerging Artificial Intelligence Applications in Computer Engineering. IOS PRESS, 2007.

KUBAT, M.; HOLTE, R. C.; MATWIN, S. (1998). **Machine learning for the detection of oil spills in satellite radar images**. *Machine learning*, 30(2-3), 195-215.

NBR 5462:1994. **Confiabilidade e manutenibilidade**. Disponível em <<http://pt.scribd.com/doc/144104431/ABNT-NBR-5462-Sobre-Manutenibilidade#scribd>>. Acesso em: 01 de junho de 2018.

NOGARE, D.; ZAVASCHI, T. **Análise Preditiva com Azure Machine Learning e R**. São Paulo, B2U Editora, 2016.

QUINLAN, J. R. (2014). **C4. 5: Programs for Machine Learning**. Elsevier.

SIMON, P. **Too Big to Ignore: The Business Case for Big Data**. 1ed. 2013. Hoboken, Wiley.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 3 ed. São Paulo, Atlas, 2009.

SOLBERG, A.H.S., SOLBERG, R. (1996). **A Large-Scale Evaluation of Features for Automatic Detection of Oil Spills in ERS SAR Images**. IEEE Symp. Geosc. Rem. Sens (IGARSS) (pp. 1484–1486).

XENOS, H. G. **Gerenciamento a manutenção produtiva**. Nova Lima: Falconi editora, 2014.

WOODS, V. **“Gartner Says It's Not Just About Big Data; It's What You Do With It: Welcome to the Algorithmic Economy”**. Gartner Group. 2015. Disponível em <<http://www.gartner.com/newsroom/id/3142917>>. Acesso em 01 de junho de 2018.

PREDIÇÃO DO RENDIMENTO ACADÊMICO UTILIZANDO REDES NEURAS ARTIFICIAIS



Douglas Cesar Mariano da Silva¹, Marlene Guemra Borriero², Marcelo Schreder³, Ivo Neitzel⁴

RESUMO

A evasão acadêmica é um problema crônico que vem crescendo não só no Brasil, mas em outros países também e isso causa prejuízos não somente para o acadêmico, mas também para as instituições de ensino. Pesquisas realizadas a respeito mostram quais são os principais motivos pelos quais os acadêmicos desistem da faculdade, entre eles estão a dificuldade do curso, os problemas financeiros para o aluno se manter na universidade e a vocação do estudante. Diante disso é necessário quebrar barreiras e buscar na tecnologia e inovação, as formas de prever o desenvolvimento do acadêmico, bem como auxiliá-lo para evitar a desistência. A inteligência artificial (IA), pode ser uma opção para facilitar o processo de aprendizagem e resolver esse tipo de problema, através de redes neurais pode-se atribuir pesos e valores e descobrir a tendência de cada acadêmico. Além da utilização da IA trazer benefícios e agilidade ao processo de aprendizagem, pode colaborar significativamente na redução dos índices de reprovações e evasões, pois possibilita trabalhar e acompanhar individualmente cada estudante e trazer novas ideias e maior eficiência na execução dos planos de ação junto aos estudantes.

Palavras-chave: Inteligência Artificial; Redes Neurais; Evasão Acadêmica.

ABSTRACT

Academic evasion is a chronic problem that has been growing not only in Brazil, but in other countries as well, and this causes damage not only to the academic but also to educational institutions. Research on this topic shows the main reasons why academics drop out of college, such as the difficulty of the course, financial problems for the student to stay in university and the vocation of the student. Faced with this is necessary to break down barriers and seek in technology and innovation, ways to predict the development of the academic, as well as assisting him to avoid giving up. Artificial intelligence (AI) can be an option to facilitate the learning process and solve this type of problem, through neural networks one can attribute weights and values and discover the tendency of each academic. Besides the use of AI to bring benefits and agility to the learning process, it can collaborate significantly in reducing the rates of disapproval and evasion, since it makes it possible to work and accompany each

¹ Acadêmico do curso de Engenharia Química da FATEB – e-mail: <douglas_cesar89@hotmail.com>.

² Acadêmica do curso de Engenharia Química da FATEB – e-mail: <leninha_guenraborriero@hotmail.com>.

³ Acadêmico do curso de Engenharia Química da FATEB – e-mail: <marcelo_schreder@hotmail.com >.

⁴ Professor orientador do artigo – e-mail: <ivo.neitzel@fatebtb.edu.br >

student individually and to bring new ideas and greater efficiency in the execution of the action plans with the students

Keywords: Artificial Intelligence; Neural Networks; Academic Evasion.

1. INTRODUÇÃO

Estudos demonstram que acadêmicos dos cursos da área de exatas, de diversas instituições de ensino, sejam públicas ou privadas não conseguem acompanhar as disciplinas de seus respectivos cursos devido uma série de fatores, o que ocasiona o aumento dos índices de reprovações e conseqüentemente na evasão destes.

As perdas financeiras por conta das evasões acadêmicas têm aumentado a cada ano, se tornando um problema crônico tanto para instituição de ensino quanto para o acadêmico, pois ocorre perda de tempo e de investimento institucional.

Diante dos fatos, surge o seguinte questionamento:

Como mensurar o aprendizado, a fim de reduzir os índices de reprovações e/ou evasões garantindo que boas notas de fato reflitam em aprendizado?

A tecnologia tem estado cada vez mais presente na vida do ser humano, e seu avanço tem possibilitado a elaboração de pesquisas e estudos em aplicações que utilizam a inteligência artificial (IA) para facilitar o processo de ensino e aprendizagem.

A utilização de ferramentas voltadas às áreas tecnológicas facilita o acesso ao conhecimento para todos e permite que as aplicações se adaptem ao perfil do aluno para o qual será ensinado.

Além de a tecnologia permitir o ensino, pode auxiliar na avaliação de desempenho do acadêmico, permitindo a previsão de seus resultados e as correções necessárias.

2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada foi a revisão de literatura sobre o tema, através de artigos científicos, revistas, periódicos e posteriormente determinado as variáveis de entrada e atribuições de pesos às variáveis escolhidas para que fossem treinadas e testadas no aplicativo MPB. A previsão para a realização de cada etapa do projeto foram programadas de acordo com o quadro 1.

Quadro 1 – Cronograma do Projeto.

Ação	Metodologia	Data limite	Status
Abordagem e análise inicial do tema	Follow-up juntamente com o Orientador	01/03/2018	Concluído
Revisão de literatura inicial sobre o Tema proposto, definição do tema, objetivos e justificativas	Pesquisa em livros, artigos, revistas e periódicos atuais relacionados ao tema	15/03/2018	Concluído
Introdução a RNA e MBP	Follow-up com o Orientador	15/04/2018	Concluído
Definição e simulação das variáveis iniciais de entrada para teste	Software MPB	15/05/2018	Concluído
Revisão de literatura para adição de mais variáveis de entrada	Pesquisa em livros, artigos, revistas e periódicos atuais relacionados ao tema	01/09/2018	Concluído
Atribuir pesos a fim de relacionar entradas e saídas de dados	Pesquisa em livros, artigos, revistas e periódicos atuais relacionados ao tema juntamente com o Orientador	01/09/2018	Concluído
Treinar a RNA com os dados de entrada	Aplicativo MPB	01/09/2018	Concluído
Análise de resultados e validação	Follow-up com o Orientador	15/09/2018	Concluído
Conclusão para apresentação no EPIC	Análise dos resultados	20/09/2018	Concluído

Fonte: O Autor.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1 A Evasão Acadêmica como uma Problemática

Segundo um estudo realizado por Rissi e Marcondes (2009), no Brasil, os dados do censo mostram que, de 2008 para 2009, um total de 896.455 estudantes abandonaram as universidades. Nas instituições públicas, o percentual dos alunos que se evadiram dos cursos foi de 10,5%, já nas particulares, o percentual sobe para 24,5% dos estudantes. Cada estudante custa por volta de R\$ 15 mil ao ano na universidade pública e em média R\$ 9 mil ao ano na instituição privada.

As perdas financeiras do país com a evasão chegam a R\$ 9 bilhões acreditando-se que esse seja um problema crônico. "A evasão no ensino superior não é um problema só do Brasil, mas internacional. As perdas de alunos que iniciam e não terminam seus cursos são desperdícios sociais, acadêmicos e econômicos. Constituem-se em uma fonte de ociosidade de professores, funcionários, equipamentos e espaço físico". Nesse sentido, as perdas são para os dois lados. "No setor público, o alto índice de evasão significa uma grande quantidade de recursos públicos investidos sem o devido retorno, enquanto no setor privado ela se transforma em uma importante e perigosa perda de receita". No âmbito acadêmico, há um prejuízo de tempo e investimento institucional (RISSI e MARCONDES, 2009).

A evasão média do Paraná coincide com a taxa estimada para o Brasil, que é de 20,9%, porém não significa que estamos bem, ao fazer o recorte apenas da situação nas universidades públicas, a taxa do Paraná em 2009 fica bem acima da média nacional: no país, o percentual de abandono foi de 10,5% contra de 17,5% no estado. Entre as particulares, o índice nacional é um pouco mais elevado, ficando em 24,5%. No estudo feito pelo pesquisador Oscar Hipólito, exclusivamente para a Gazeta do Povo, publicada em 14/02/2010, no ensino superior paranaense, em

2009, 56.837 universitários abandonaram cursos essa foi a maior taxa desde 2003, além do prejuízo social, o rombo para o poder público e para as instituições privadas é de R\$ 568 milhões (RISSI e MARCONDES, 2009).

Muitos são os fatores responsáveis pela desistência, entre eles a dificuldade do curso, os problemas financeiros para o aluno se manter na universidade e a vocação do estudante, que muitas vezes só percebe que fez a escolha errada depois de cursar alguns períodos. No primeiro caso, cursos de Engenharia, Matemática, Física e outros da área de Exatas são os que mais causam evasão. O motivo é simples: os alunos não conseguem acompanhar disciplinas difíceis do primeiro ano, como Cálculo, e em muitos casos reprovam, o que desestimula a continuar na carreira. Na Unicamp, por exemplo, a taxa de evasão em Engenharia é de 25%. (SIMAS, 2012).

Uma análise dos dados do Censo da Educação Superior indica que um entre três estudantes paranaenses que deveriam concluir o curso universitário em 2008 não se formou naquele ano, ou porque deixou a faculdade ou porque reprovou e não conseguiu concluir os estudos no tempo mínimo previsto. Os motivos são muitos, mas os principais são o desestímulo provocado pela complexidade das matérias, os problemas financeiros e as dificuldades em conciliar trabalho e universidade. Um relatório elaborado pela Pró-Reitoria de Graduação da UFPR mostra que além da baixa taxa de conclusão, os cursos de Exatas são também os que apresentam os menores índices de aprovação da universidade. Em 2009, o setor aprovou 60% dos estudantes, contra 97% do setor de Ciências da Saúde, que apresenta a maior taxa de aprovação (CAMPOS, 2010).

3.2 As Principais Causas da Evasão Acadêmica no Brasil

De acordo com Cosentino (2018), a evasão no ensino superior e as altas taxas de desistência estão entre as maiores preocupações do setor educacional. Esses índices chegam a superar o número de conclusão e de formados e contribuem, diretamente, para a diminuição da lucratividade dos negócios. Logo, se uma instituição consegue formar apenas a metade de alunos inscritos no início de um curso, a conta não fecha e os impactos negativos repercutem a médio e longo prazo.

Entender os motivos dessa evasão é um grande desafio, pois demanda uma análise detalhada em relação aos mais diversos fatores que levam os estudantes a não concluírem o curso, inclusive questões econômicas e sociais, uma vez que o país passa por um momento instável. Diante deste cenário, é fundamental que as instituições de ensino estejam dispostas a romper barreiras e a repensar a sua gestão, com base na adoção de tecnologias, para inaugurar uma nova fase na sua organização (COSENTINO, 2018).

Segundo Biazus (2004) as causas do fenômeno da evasão podem estar tanto no ambiente interno quanto no ambiente externo das instituições, como também podem estar relacionadas a questões pessoais do aluno, sendo que, as causas internas são referentes aos recursos humanos, a aspectos didático-pedagógicos, falta de assistência sócio educacional e à infraestrutura. Já as causas externas são ligadas a aspectos sócio-político-econômicos e as causas relacionadas ao aluno são aquelas referentes à vocação e a outros problemas de ordem pessoal.

Quanto aos aspectos externos, os autores como Silva Filho et al. (2007), Gaioso (2005), Biazus (2004), Martins (2007) apontam as condições sociais, políticas, econômicas e pessoais do aluno como principais causas da evasão. O fator financeiro, ou seja, a falta de recursos do aluno para manter-se na instituição

de ensino superior, e/ou a incompatibilidade do horário das aulas com o horário de trabalho são fatores que dificultam a permanência do aluno.

Em uma pesquisa realizada por Cordasso et al. (2016), o qual teve como objetivo verificar os fatores que influenciam na evasão dos cursos de graduação das Instituições de Ensino Superior (IES) – públicas e privadas, localizadas no Município de Sinop, Mato Grosso, foi observado que praticamente todos os acadêmicos estão satisfeitos com o curso escolhido, caso contrário o fator principal para evasão seria a insatisfação com o curso, escolhida em 55.3% dos casos. Na sequência, a pesquisa revela que a dificuldade financeira contribuiria para saída com 54.6%. Ainda, a baixa qualidade do ensino seria motivo para 52.7% dos acadêmicos, sendo os três primeiros fatores a ser levado sem consideração para desistência do curso. Ao final do questionário foi aberto espaço em que o estudante comentasse sobre o Ensino Superior no Brasil. Dentre as respostas, de um modo geral, os alunos acreditam que: Falta motivação e incentivo das IES; Falta investimento na educação básica; Professores capacitados e qualificados; Melhorar a qualidade de ensino; Relação teoria e a prática; e também Infraestrutura.

Pode-se afirmar que, além da insatisfação com o curso e a baixa qualidade de ensino, fatores como dificuldades em conciliar estudo com trabalho, dificuldades financeiras, problemas pessoais e familiares e faltas de ações estratégicas para manter o acadêmico no curso somam as principais causas da evasão acadêmica neste estudo apresentado no XVI Colóquio Internacional de Gestão Universitária, no Peru em 2016.

Para Almeida e Soares (2003), as diferenciações em relação às motivações, expectativas e níveis de autonomia podem aparecer em grupos de alunos segundo diversas variáveis, como o sexo, o curso e o semestre. Os dados obtidos mostraram que as mulheres têm maior compromisso com o curso, condições para o estudo e desempenho acadêmico. Isso pode significar uma maior identidade com o curso e autoconhecimento dos seus objetivos, interesses e habilidades pessoais, o que promove maior investimento nas atividades de aprendizagem e, conseqüentemente, melhor rendimento acadêmico.

As variáveis de caráter financeiro, que incluem também os diferentes tipos de apoio, bolsas ou financiamentos indicam uma possível relação de causa e efeito atuando sobre os índices de evasão. A variável inadimplência permite identificar que a condição financeira tem influência no momento da evasão, pois o percentual de evadidos é superior entre quem esteve, em algum momento do curso, em condição de inadimplência. O fato de os alunos receberem qualquer tipo de ajuda financeira indica que seu potencial de evasão é menor, se comparado com aqueles que não recebem nenhum tipo de ajuda financeira. Da mesma forma, observa-se para quem tem algum tipo de ajuda – por exemplo, mediante bolsa filantropia, financiamento, Fies, Amparo social e ProUni –, sua chance de se evadir diminui em comparação com aqueles que não possuem algum tipo de apoio financeiro (FRITSCH et, al. 2015).

Entre todos os indicadores financeiros, o IPCA (Índice Nacional de preços ao Consumidor Amplo) é considerado o índice oficial de inflação do país e foi criado com o objetivo de oferecer a variação dos preços para o público final. Medido mensalmente pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), ele pode dar um panorama de como a inflação pode afetar a procura por determinado produto (AMARAL, 2018).

Os resultados da variável estado civil indicam que os estudantes solteiros são os que apresentam menor percentual de evasão (55,81%). Considerando que a

evasão entre os ingressantes mais jovens é menor e a condição civil solteiro ser mais representativa, é possível identificar esse resultado mais explicado pela idade do que pelo estado civil (FRITSCH et, al. 2015).

3.3 A Utilização de Inteligência Artificial (Ia) como Estratégia de Aprendizado

A Inteligência Artificial é uma área que fascina por ser aplicável a praticamente qualquer área ou tema e é citada regularmente como 'o campo em que eu mais gostaria de estar' por diversos cientistas. O interesse pela interdisciplinaridade como forma de busca do conhecimento, construção de novas ideias, solução de problemas, encontra na IA uma forte aliada. Usar IA para o ensino é uma boa estratégia para tornar mais agradável a apresentação do modelo de aprendizagem, fazendo que o aluno possa ter uma melhor interatividade com a ferramenta que lhe é oferecida (RUSSEL, 2013).

A ideia do uso de IA na elaboração de exercícios de verificação de aprendizagem surgiu ao constatar-se que a avaliação de conhecimento é um fator crítico em diversos sistemas que se propõem ao ensino (HEINZEN, 2004).

De acordo com Turbot (2014), a IA está transformando o mundo da educação em um ritmo acelerado. Com estudantes cada vez mais usando tablets e a programação sendo incluída em currículos nacionais por todo o mundo, a tecnologia está se tornando parte integrante das salas de aula, tal como o giz e o quadro negro e embora os altos custos continuem sendo um desafio, estudos demonstram que futuramente as ferramentas de inteligência artificial e realidade virtual serão tão acessíveis quanto os smartphones e os computadores de mesa não está longe.

O aprendizado agora está se transformando em uma experiência verdadeiramente imersiva dentro e fora da sala de aula. Como curador de conferência, planejo vivências com atividades imersivas para oferecer aos participantes experiências memoráveis, deixando-os com um forte desejo de retornar no ano seguinte (TURBOT, 2014).

Para diversos autores, além da utilização da IA trazer benefícios e agilidade ao processo de aprendizagem, pode colaborar significativamente na redução dos índices de reprovações e evasões, pois possibilita trabalhar e acompanhar individualmente cada estudante e trazer novas ideias e maior eficiência na execução dos planos de ação junto aos estudantes.

3.4 Introdução a Redes Neurais Artificiais (Rna's)

De acordo com Lima (2005), o conceito de redes neurais artificiais (RNA's) envolve técnicas computacionais desenvolvidas através de modelos matemáticos baseados na constituição estrutural do cérebro. Esta inspiração originou-se pelo fato do cérebro possuir capacidades de processamento e organização poderosas e principalmente pelo fato de ser responsável pelo comportamento inteligente do indivíduo, com isso supõe-se que reproduzindo suas características, podem-se extrair resultados inteligentes (LIMA, 2005).

O processamento de informações sensoriais e a capacidade de interação com ambientes pouco definidos, realizada pelos seres humanos e outros animais, motiva os pesquisadores a desenvolver sistemas artificiais capazes de desempenhar tarefas semelhantes, visando incorporar a sistemas computacionais capacidades de processamento de informações incompletas ou imprecisas e generalização (LIMA, 2005).

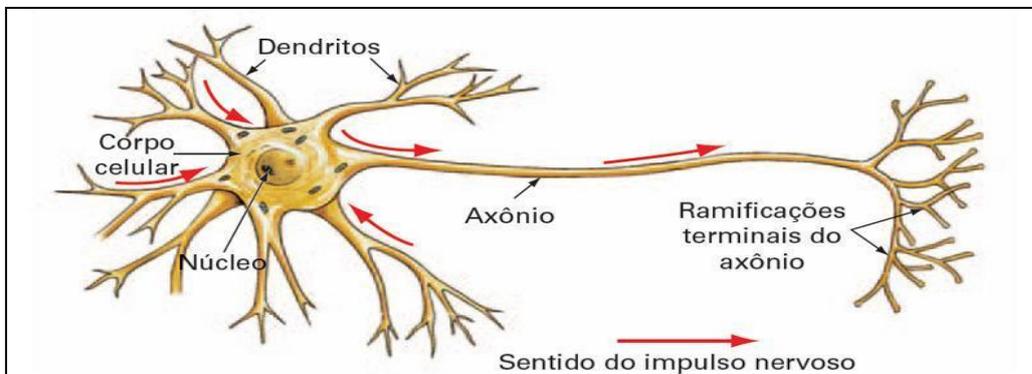
As RNA's são aplicadas nas mais diversas áreas, pois suas vantagens constituem poderosas ferramentas para diversas aplicações. O poder computacional das redes neurais é extraído de sua estrutura paralelamente distribuída e de sua habilidade de aprender e generalizar (LIMA, 2005)

3.4.1 Inspiração Biológica

Segundo Lima (2005), o ser humano é dotado de complexos circuitos neurais cerebrais amplamente interconectados, estes circuitos são formados por células nervosas denominadas neurônios.

Embora os neurônios possam apresentar diferentes formas e tamanhos, eles possuem quatro regiões especializadas servindo para funções específicas. São os dendritos, corpo celular, axônio e terminações do axônio.

Figura 1: Representação Simplificada do Neurônio Biológico.



Fonte: LIMA(2005)

Os dendritos formam vários conjuntos de fibras irregulares ao redor do corpo celular que funcionam como dispositivos de entrada recebendo sinais de outros neurônios. O corpo celular contém o núcleo e organelas críticas para manter a vitalidade do neurônio. O axônio corresponde a um filamento longo o qual conduz informação codificada em forma de potenciais de ação até pequenas ramificações denominadas terminações do axônio que funcionam como dispositivos de saída (LIMA, 2005).

A transmissão de informação de um neurônio para outro acontece em locais de contato denominados sinapses, que geralmente estão em terminações do axônio de uma célula com os dendritos de outra. Os neurônios que enviam informações são denominados pré-sinápticos e aqueles que as recebem pós-sinápticos.

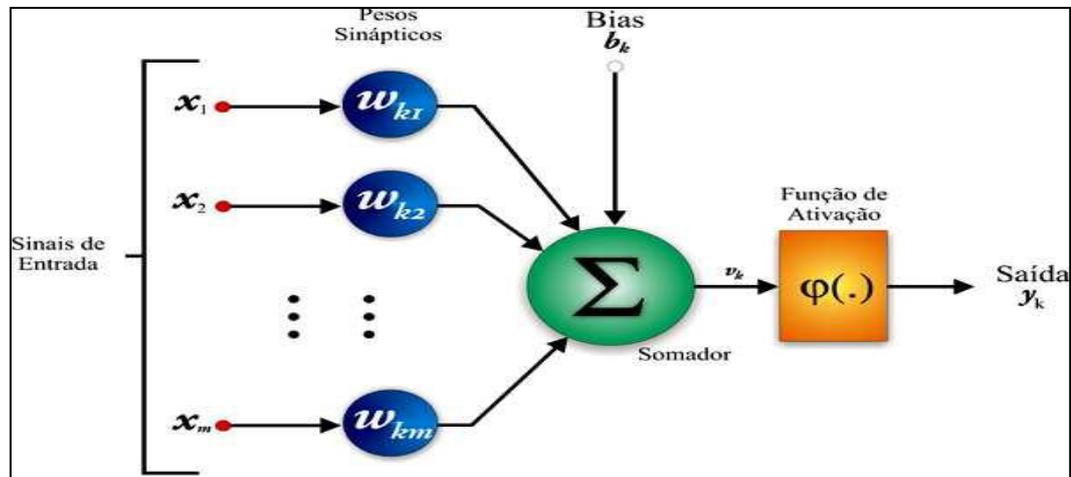
Cada neurônio do sistema nervoso é constantemente bombardeado por entradas sinápticas a partir de outros neurônios. Cada neurônio pode receber de 1.000 a 10.000 contatos sinápticos em seu corpo e dendritos podendo se projetar sobre milhares de neurônios alvos, criando assim uma enorme estrutura paralela de processamento que compõe o circuito neural (LIMA, 2005).

As diversas vantagens do cérebro perante os computadores digitais motivaram o estudo de modelos artificiais inspirados no sistema neural biológico, os quais realizam comportamento coletivo em uma população muito grande de elementos computacionais simples (neurônios) que trocam sinais de cooperação ou competição, trabalhando em paralelo e de forma distribuída, sendo fortemente dependentes de suas conexões. (LIMA 2005).

3.4.2 Modelo de um Neurônio Artificial

De acordo com Ribeiro (2007) um neurônio é uma unidade de processamento de informação que é fundamental para a operação de uma RNA. A descrição do modelo do neurônio proposto por McCulloch e Pitts (1943), citado por Ribeiro (2007) resultou em um modelo com n terminais de entrada x_1, x_2, \dots, x_n (que representam os dendritos) e apenas um terminal de saída y (representando o axônio). Para emular o comportamento das sinapses, os terminais de entrada do neurônio têm pesos acoplados $w_{k1}, w_{k2}, \dots, w_{km}$ cujos valores podem ser positivos ou negativos. O efeito de uma sinapse particular i no neurônio é dado por $x_i w_i$. Os pesos determinam em que grau o neurônio deve considerar sinais de disparo que ocorrem naquela conexão.

Figura 2: Modelo Simplificado de um Neurônio Artificial.



Fonte: LIMA (2005).

Neste modelo não-linear podem ser identificados três elementos básicos:

- Sinapses: ou conexão de entrada, caracterizadas por pesos ou forças próprias. Um sinal x_j na entrada da sinapse j , conectada ao neurônio k é multiplicado pelo peso sináptico w_{kj} ;
- Junção aditiva ou somador: responsável pela soma ponderada dos sinais de entrada;
- Função de ativação: restringe a amplitude da saída de um neurônio, limita o intervalo permissível de amplitude do sinal de saída. Podem ser do tipo linear e não-linear. Tipicamente o intervalo normalizado da amplitude da saída de um neurônio é escrito como o intervalo unitário fechado $[0, 1]$ ou alternativamente $[-1, 1]$.

O modelo neuronal apresentado inclui também um bias aplicado externamente, representado por b_k . O bias tem o efeito de aumentar (se $b_k > 0$), ou diminuir (se $b_k < 0$) a entrada líquida da função de ativação.

Em termos matemáticos, pode-se descrever um neurônio 'k' escrevendo o seguinte par de equações:

$$v_k = \sum_{j=1}^m w_{kj} x_j \quad y_k = \phi(v_k + b_k)$$

Onde x_1, x_2, \dots, x_n são os sinais de entrada; $w_{k1}, w_{k2}, \dots, w_{kn}$ são os pesos sinápticos do neurônio k ; v_k é a saída do combinador linear devido aos sinais de entrada; b_k é o bias; $\phi(\cdot)$ é a função de ativação; e y_k é o sinal de saída do neurônio. (RIBEIRO 2007).

A função de ativação $\phi(\cdot)$ é responsável pela definição da saída do neurônio em função de seu nível interno de ativação v_k .

Segundo Ferreira (2017), para constituir uma rede neural, os neurônios são agrupados em estruturas denominadas camadas. Essas camadas são geralmente agrupadas definindo a profundidade da rede neural. O modo como essas camadas são agrupadas e a forma de aprendizado definem a arquitetura de uma rede neural artificial. Entre as várias arquiteturas de redes neurais, as Redes Neurais Convolucionais têm como uma das características principais o uso de mapas de convolução como conjunto de pesos compartilhados entre os vários neurônios das camadas de convolução.

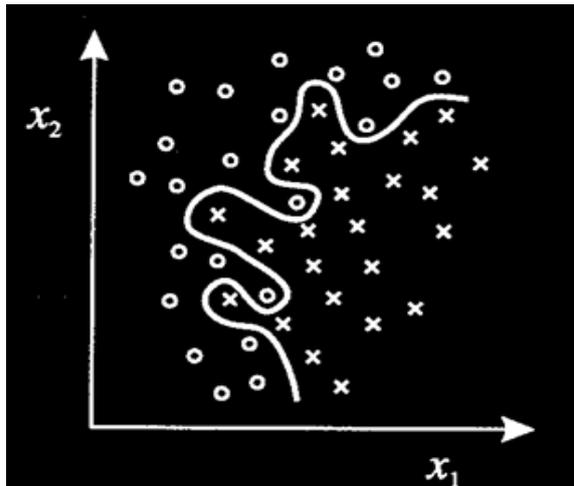
A promessa do aprendizado profundo não é que os computadores comecem a pensar como seres humanos. Em vez disso, demonstra que, dado um conjunto de dados suficientemente grande, processadores rápidos e um algoritmo suficientemente sofisticado, os computadores podem começar a realizar tarefas que até então só podiam ser realizadas apenas por seres humanos, como reconhecer imagens e voz, criar obras de arte ou tomar decisões por si mesmo, etc. (DATA SCIENCE ACADEMY, 2018).

3.4.3 Introdução ao Aplicativo Multiple Back-Propagation (MBP)

O Software Multiple Back-Propagation (MBP), é um software livre e gratuito para treinamento de redes neurais artificiais com os algoritmos Back-Propagation e Multiple Back-Propagation. O MBP é um software de fácil utilização, altamente configurável, treinamento rápido, fornece gráficos RMS durante o treinamento, fornece saída contra os gráficos de saída desejados durante o treinamento para os conjuntos de treinamentos e teste, gera código C para as redes treinadas e também permite análise de sensibilidade de entrada (LOPES 2011).

De acordo com Lanhellas (2013), a RNA conta com inúmeros algoritmos para reconhecimento de padrões: Kohonen, Perceptron, Adaline, Backpropagation e muitos outros, cada um com sua especificidade. A principal vantagem em se usar o Backpropagation é que o mesmo trabalha com multicamadas e resolve problemas “não-linearmente separáveis” e alguns algoritmos não resolvem. Um problema “não-linearmente separável” é aquele onde não poderemos separar duas classes distintas no eixo cartesiano bidimensional apenas traçando uma reta.

Figura 3: Problema não-linearmente separável.



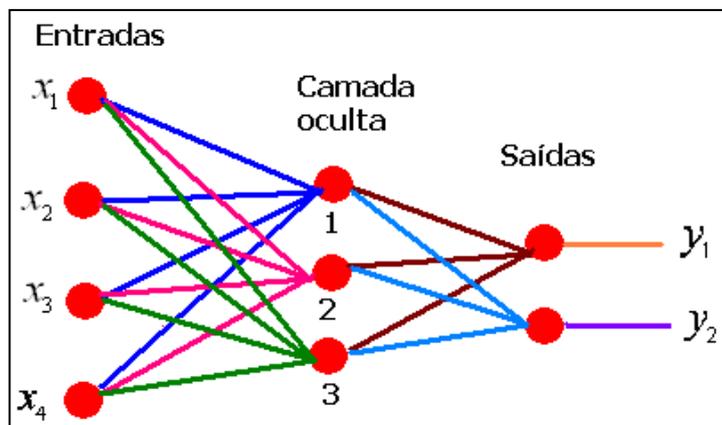
Fonte: LANHELLAS (2013).

Segundo Lanhellas (2013), não é possível separar o padrão “o” do padrão “x” apenas traçando uma reta. Isso significa que se tiver como objetivo identificar se aquele objeto é redondo ou quadrado e em algum momento esses padrões apresentam a característica acima, algoritmos que não resolvem problemas desse tipo não serão capazes de distinguir redondo de quadrado. Outra característica importante é que o Back-propagation é feedforward, ou seja, a conexão entre os neurônios não é cíclica, indo do início até o fim não encontrará um ciclo.

Em qualquer RNA temos os seguintes itens: Neurônios e Pesos. Os neurônios armazenam os valores que serão calculados para definição dos pesos, onde estes pesos são a “chave” para funcionamento de toda RNA, é pelo peso que a RNA consegue identificar que aquele objeto é redondo e não quadrado (LOPES 2011).

De acordo com Lopes (2011), o Back-propagation é multicamada, pois tem no mínimo 3 camadas.

Figura 4: Algoritmo Back-Propagation.



Fonte: LANHELLAS (2013).

Existem 4 neurônios de entrada (x_1 , x_2 , x_3 e x_4), onde cada um destes se liga a todos os neurônios intermediários (camada oculta ou hiddenlayer) e cada neurônio da camada oculta se liga a todos os neurônios da camada de saída.

3.4 Resultados

As variáveis de entrada foram determinadas, avaliando resultados de pesquisas já realizadas referentes a evasões acadêmicas e suas respectivas causas. Foi utilizado como base as matérias do primeiro período do curso de Engenharia Química da Faculdade de Telêmaco Borba (FATEB), levando em consideração notas e frequências de alunos nomeados de “A” a “Z”, totalizando um grupo de 26 alunos.

Figura 5: Tabela das variáveis de entrada utilizados para treino.

Esboço do projeto interdisciplinar - pesos sinápticos para variáveis de entrada		Alunos	Notas por Matéria					% de frequência por Matéria					MÉDIAS	CONCEITO		
			Português	Matemática	Física	Química	Introdução a Engenharia	Metodologia Científica	Português	Matemática	Física	Química			Introdução a Engenharia	Metodologia Científica
Conceito para nota e freq	%	A	35	40	43	30	40	50	30	45	35	50	43	30	39,25	3
1	75 a 100	B	60	75	70	65	70	80	80	90	80	80	80	90	76,67	1
2	50 a 75	C	40	35	43	55	30	47	30	45	52	49	57	80	46,92	3
3	25 a 50	D	90	80	80	75	90	80	65	75	70	70	60	60	74,58	2
4	0 a 25	E	50	60	60	30	50	50	75	75	65	80	70	70	61,25	2
		F	80	85	80	80	75	70	80	80	90	80	80	70	79,17	1
		G	65	75	80	75	70	90	80	80	70	75	85	80	77,08	1
		H	85	70	75	70	75	70	75	70	80	75	70	85	75,00	2
		I	55	50	55	60	70	75	75	80	80	75	70	70	67,92	2

Fonte: O Autor (2018).

Os valores para notas e frequências foram determinadas de forma aleatória e as variáveis notas e frequências por matérias, foram relacionadas através de média aritmética, e convertidas a um conceito que foi estipulado da seguinte maneira:

- Conceito 1: média entre 75 e 100%;
- Conceito 2: média entre 50 e 75%;
- Conceito 3: média entre 25 e 50%;
- Conceito 4: média entre 0 e 25%.

Com base na revisão de literatura, foram utilizadas as variáveis que mais afetam no índice de evasão acadêmica e atribuídos pesos multiplicadores às médias já obtidas anteriormente, conforme figura 6.

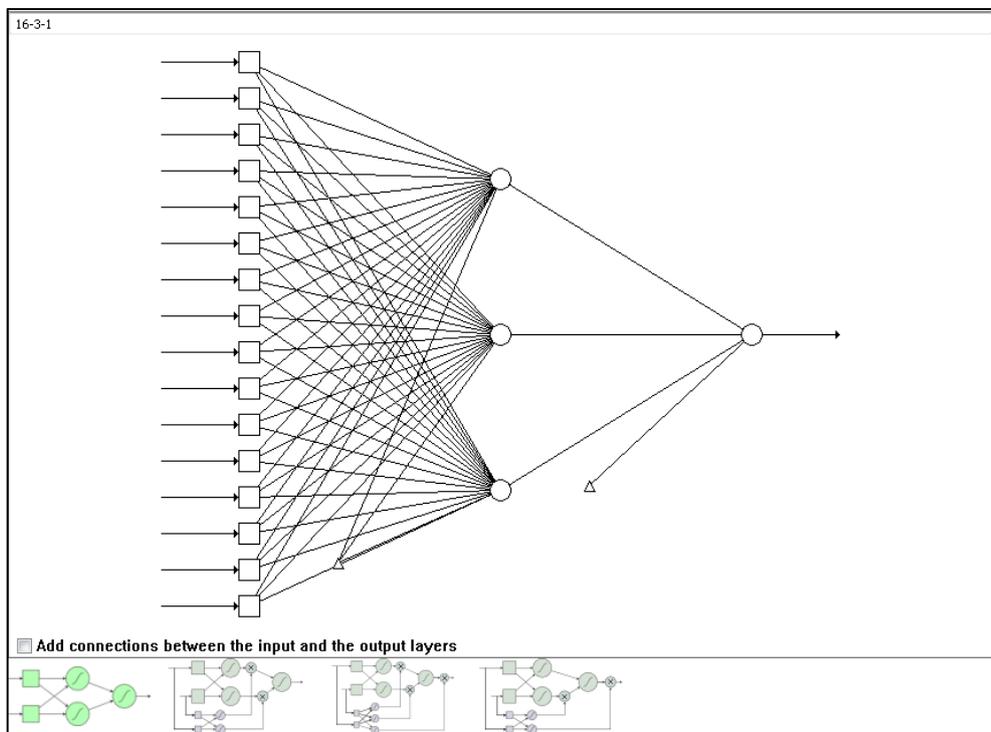
Figura 6: Tabela das variáveis e seus multiplicadores condicionais.

Variável	Multiplicador	
	Se sim	Se não
Trabalha ou não?	0,5	1
	Se masculino	Se feminino
Gênero	0,5	1
	Se desfavorável	Se favorável
Índice Financeiro	0,5	1
	Se casado (a)	Se solteiro (a)
Estado Civil	0,5	1

Fonte: O Autor (2018).

Após relacionar todas as variáveis de entrada e seus respectivos multiplicadores, foi determinado a tipologia da rede neural do software MPB para que os dados fossem treinados e testados, sendo selecionado o modelo 16-03-1, o qual mais se adequou aos dados.

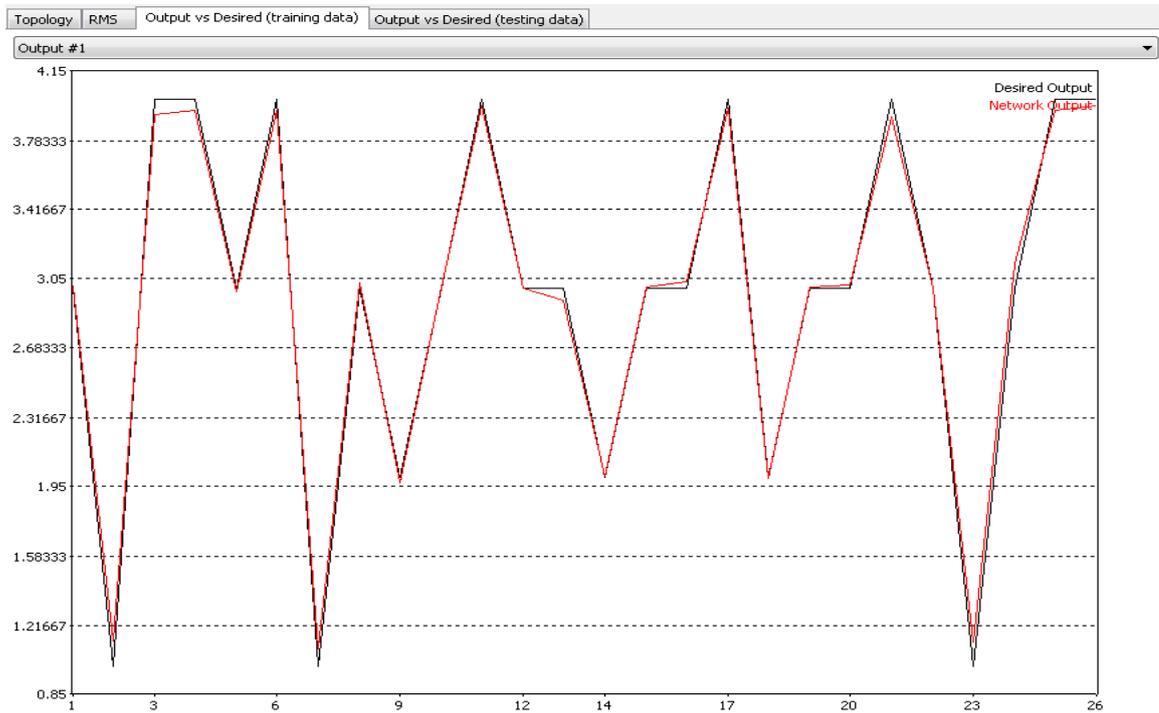
Figura 7: Modelo de rede neural selecionado.



Fonte: O Autor (2018).

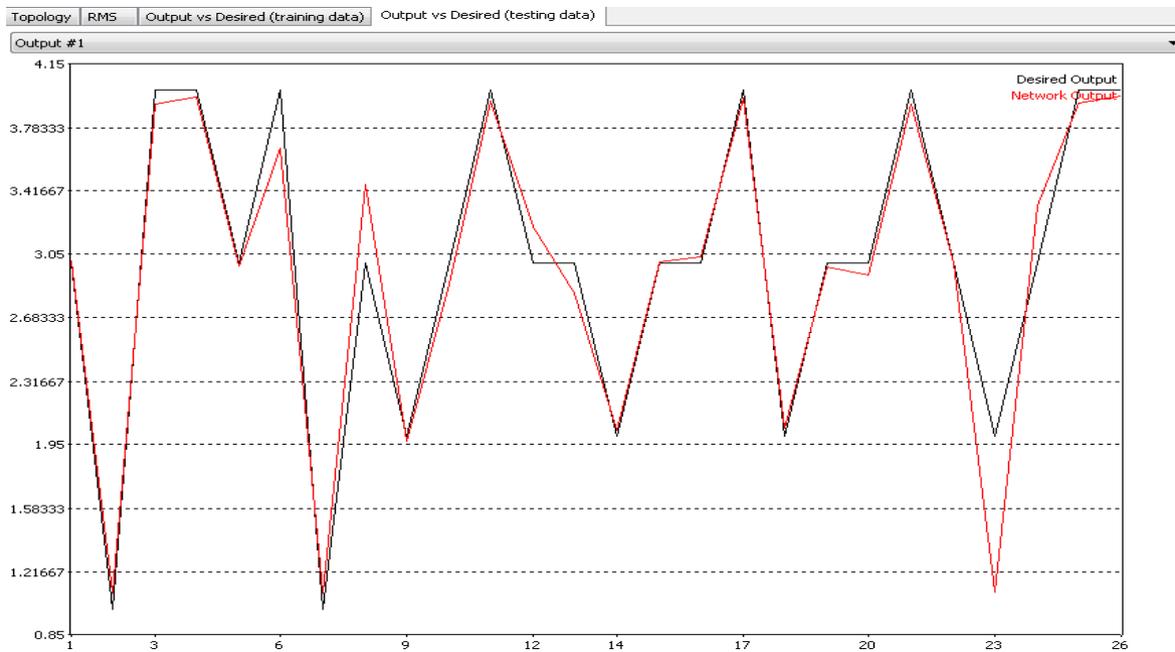
As figuras 8 e 9 apresentam os resultados de treino e de teste respectivamente da rede neural, comparando os dados de saída obtidos no programa versus as saídas desejadas.

Figura 8: Resultados de treino.



Fonte: O Autor (2018).

Figura 9: Resultados de teste.



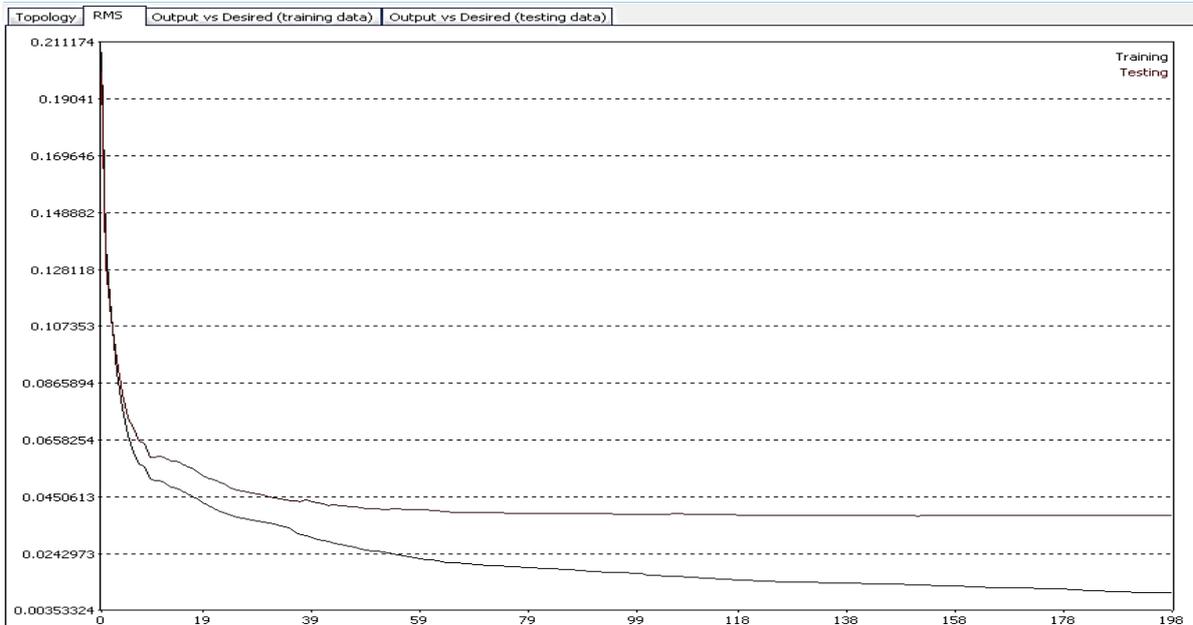
Fonte: O Autor (2018).

É possível verificar que embora os dados de treino foram aleatórios, assim como os dados de teste, as curvas de saída são coerentes com as desejadas. Devido tal coerência, tanto das curvas de treino (figura 8) quanto de teste (figura 9),

é possível validar o resultado, afirmando que, alunos que atingiram valores de saída acima de 2 necessitam de intervenção por parte da instituição de ensino, para que seu rendimento seja melhorado a fim de que o aluno não desista do curso.

A figura 10 apresenta o desvio entre as curvas de treino e teste.

Figura 10: Comparativo entre curva de treino e de teste.



Fonte: O Autor (2018).

De acordo com a figura 10, as curvas de teste (vermelha) e treino (preta) tiveram menor desvio entre elas ao utilizar o modelo 16-03-1, onde o número 16 são as quantidades de variáveis de entrada, o número 3 representa a quantidade de camadas ocultas ou intermediárias e o número 1 é o resultado de saída para cada aluno, conforme figura 7.

4. CONCLUSÃO

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou uma análise de como um software utilizando redes neurais ou inteligência artificial (IA), pode ajudar uma instituição a garantir o menor número possível da evasão acadêmica, de acordo com os gráficos apresentados, pode-se observar que os resultados obtidos, foram muito próximos do esperado. Além disso os conceitos e pesos (%) para os mesmos, podem ser atualizados de acordo com a necessidade da instituição, ou seja, se mudar ou adicionar um ou mais conceitos e atribuir os valores corretos para os pesos (%), pode-se obter a mesma confiabilidade dos resultados, sendo assim, mesmo que seja preciso alguns ajustes e estudos mais detalhados para o aperfeiçoamento da ideia e/ou softwares, podemos afirmar a viabilidade dessas tecnologias para o desenvolvimento não somente dos acadêmicos, mas principalmente para as instituições.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. S., Soares, A. P. C., Vasconcelos, R. M., Capela, J. V., Vasconcelos, J. B., Corais, J. M., & Fernandes, A. (2000). Envolvimento extracurricular e ajustamento acadêmico: um estudo sobre as vivências dos universitários com e sem funções associativas. Em A. P. Soares, A. Osório, J. V. Capela, L. S. Almeida, R. M. Vasconcelos & S. M. Caíres (Orgs.), Actas do seminário transição para o ensino superior (pp.167-187). Braga, Portugal.

AMARAL, L. Indicadores econômicos para monitorar e usar no planejamento orçamentário. Treasy – Planejamento e Controladoria 2018. Disponível em: <https://www.treasy.com.br/blog/indicadores-economicos/>. Acesso em 15/08/2018.

BLAZUS, Cleber Augusto. Sistema de fatores que influenciam o aluno a evadir se dos cursos de graduação na UFSM e na UFSC: um estudo no curso de ciências contábeis. 2004. 203 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

CAMPOS, M. Os cursos campeões de desistências e reprovações. Artigo Vida Na Universidade – Gazeta do Povo. Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/educacao/vida-na-universidade/vestibular/os-cursos-campeoes-de-desistencias-e-reprovacoes-3vntybeh6hmvjnjkfg1xfwqxa>. Acesso em 15/05/2018.

CORDASSO, J. A. SILVA, R. T. P da. PELEGRINI, P. BAGGENSTOSS, S. FATORES DETERMINANTES NA EVASÃO DE ACADÊMICOS NO ENSINOSUPERIOR: ESTUDO EM UM MUNICÍPIO DO NORTE MATO-GROSSENSE. Universidade do Estado do Mato Grosso do Sul – UNEMAT. XVI Colóquio Internacional de Gestão Universitária – PERU 2016. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/171967/OK%20-%20101_00407%20OK.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 15/08/2018.

COSENTINO, M. INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA EDUCAÇÃO: COMO REDUZIR A EVASÃO USANDO ANÁLISE PREDITIVA. Jornal Empresas & Negócios. São Paulo 2018. Disponível em: http://jornalempresasenegocios.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=14249:tecnologia-05-04-2018. Acesso em 01/07/2018.

DATA SCIENCE ACADEMY. Deep Learning. Disponível em:<<http://deeplearningbook.com.br/uma-breve-historia-das-redes-neurais-artificiais/>>Acesso em 25 de maio de 2018.

FERREIRA, A. S. Redes Neurais Convolucionais Profundas na Detecção de Plantas Daninhas em Lavoura de Soja. Disponível em:<<http://www.gpec.ucdb.br/pistori/orientacoes/dissertacoes/alessandro2017.pdf>> Acesso em 26 de maio de 2018.

FRITSCH, R. SILVEIRA, C. R. FERREIRA, R. V. A evasão nos cursos de graduação em uma instituição de ensino superior privada. Revista Educação em Questão, Natal, v. 52, n. 38, p. 81-108, maio/ago. 2015.

GAIOSO, Natalícia P. de Lacerda. O fenômeno da evasão escolar na educação superior no Brasil. 2005. 75 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Católica de Brasília, Distrito Federal, 2005.

HEINZEN, Rosane Porto Seleme. Modelo de ambiente virtual para aprendizagem de neuroanatomia. 2004. 127f. Tese (Doutorado) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

LIMA, I. V. M. Uma abordagem simplificada de detecção de intrusão baseada em redes neurais artificiais. Disponível em: <<http://www.inf.ufsc.br/~bosco.sobral/grupo/MestradoIgor.pdf>> Acesso em 27 de maio de 2018.

LOPES, N. Whats is Multiple Back Propagation. Disponível em: <<http://mbp.sourceforge.net/index.html>. > Acesso em 16 de junho de 2018.

LANHELLAS, R. Redes Neurais Artificiais e Algoritmo BackPropagation. Disponível em: <<https://www.devmedia.com.br/redes-neurais-artificiais-algoritmo-backpropagation/28559>> Acesso em 17 de junho de 2018.

MARTINS, Cleidis Beatriz Nogueira. Evasão de alunos nos cursos de graduação em uma instituição de ensino superior. 2007. 102 f. Dissertação (Mestrado Administração) - Fundação Dr. Pedro Leopoldo, Pedro Leopoldo, 2007.

RIBEIRO, R. N. Utilização de redes neurais artificiais e tecnologia ft-nir para predição do número kappa em um processo kraft de cozimento de madeira em indústria de celulose. Disponível em: <https://www.unilestemg.br/portal/mestrado/dissertacoes/dissertacao_ronaldo.pdf> Acesso em 26 de maio de 2018.

RISSI, M. C. MARCONDES, M. A. S. Estudo sobre a reprovação e retenção nos cursos de graduação – 2009. Londrina, UEL, 2011. 163p. Disponível em: <http://www.uel.br/proplan/LIVRO_CD_COMPLETO_Retencao_reprovacao.pdf>. Acesso em 10/04/2018.

RUSSELL, Stuart J. Norvig Peter. Artificial Intelligence: A Modern Approach. 3a ed. 2009.

SILVA FILHO, Roberto Leal Lobo et al. A evasão no ensino superior brasileiro. Caderno de Pesquisa, São Paulo, v. 37, n. 132, p. 641-659, dez. 2007.

SIMAS, A. As Graduações Campeãs em Desistência. Artigo Vida Na Universidade – Gazeta do Povo. Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/educacao/vida-na-universidade/ufpr/as-graduacoes-campeas-de-desistencia-26khijqty1gurtas1veawhyz2>. Acesso em 15/05/2018.

TURBOT, S. *World Innovation Summit for Education*. Inteligência artificial na educação: não ignore, faça bom uso. Artigo virtual publicado em Portal Porvir.org 2017. Disponível em: <http://porvir.org/inteligencia-artificial-na-educacao-nao-ignore-faca-bom-uso>. Acesso em 01/08/2018.

SIMULAÇÃO E COMPARAÇÃO DE MODELOS DE HIDROCICLONE PARA REMOÇÃO DE PARTÍCULAS DE ENXOFRE



Gustavo Leite Dias Pereira¹, Fernanda Naiara Campos de Almeida², Djeine Cristina Schiavon Maia³, Pedro Augusto Arroyo⁴ e Nehemias Curvelo Pereira⁵

RESUMO

O sulfeto de hidrogênio pode ser removido de correntes gasosas por soluções quelantes, formando enxofre elementar. Este enxofre elementar pode ser usado para diversas aplicações na indústria agrícola e farmacêutica, tais como na fabricação de fertilizantes e fungicidas, o que agrega valor comercial a um dos subprodutos da tecnologia de purificação. O hidrociclone pode ser uma alternativa para a remoção do enxofre elementar de solução quelante. Por este motivo, este trabalho objetivou desenvolver, simular e comparar duas geometrias de hidrociclone, famílias Bradley e Rietema, para a remoção de partículas de enxofre de uma solução quelante. Para as simulações, utilizou-se o software ANSYS Fluent 19.1, para a modelagem matemática e determinação dos parâmetros geométricos, utilizou-se da relação de Plitt reestruturada por Silva et al. (2012). Os dados para operação dos hidrociclones e caracterização do sistema foram baseados na literatura. Foram comparados os dados de queda de pressão, tempo de residência de partícula e viscosidade Eddy. Tendo estes como base, chegou-se à conclusão de que o hidrociclone da família Rietema é o mais apropriado, pois apresentou menor queda de pressão, maior tempo médio de residência das partículas e menor viscosidade Eddy.

Palavras-chave: hidrociclone; enxofre; simulação.

ABSTRACT

Hydrogen sulfide can be removed from gaseous streams by chelating solutions, forming elemental sulfur. This elemental sulfur can be used for various applications in the agricultural and pharmaceutical industry, such as in the manufacture of fertilizers and fungi-

¹ Acadêmico do curso de Engenharia Química da UEM – e-mail: ra107321@uem.br.

² Mestre em Engenharia Química e doutoranda no programa de pós-graduação do Departamento de Engenharia Química da UEM – e-mail: fnc.almeida@gmail.com

³ Mestre e Doutora em Engenharia Química e professora do Departamento de Engenharia Química da UEM – e-mail: dcsmaia2@uem.br

⁴ Mestre e Doutor em Engenharia Química e professor do Departamento de Engenharia Química da UEM – e-mail: paarroyo@uem.br

⁵ Mestre e Doutor em Engenharia Química e professor do Departamento de Engenharia Química da UEM – e-mail: nehemias@deq.uem.br

cides, which adds monetary value to one of the by-products of purification technology. A hydrocyclone may be an alternative for the removal of elemental sulfur from the chelating solution. For this reason, this work aimed to develop, simulate and compare two hydrocyclone geometries, Bradley and Rietema families, for the removal of sulfur particles from a chelating solution. For the simulations, the ANSYS Fluent 19.1 program was used, for the mathematical modeling and determination of the geometric parameters, the Plitt equation restructured by Silva et al. (2012) was used. The data for hydrocyclone operation and system characterization were based on the literature. The data of pressure drop, particle residence time and Eddy viscosity were compared. Based on these, it was concluded that the Rietema hydrocyclone is the most appropriate, since it presented lower pressure drop, longer average residence time, and lower Eddy viscosity.

Keywords: hydrocyclone; sulfúrico; simulation.

1. INTRODUÇÃO

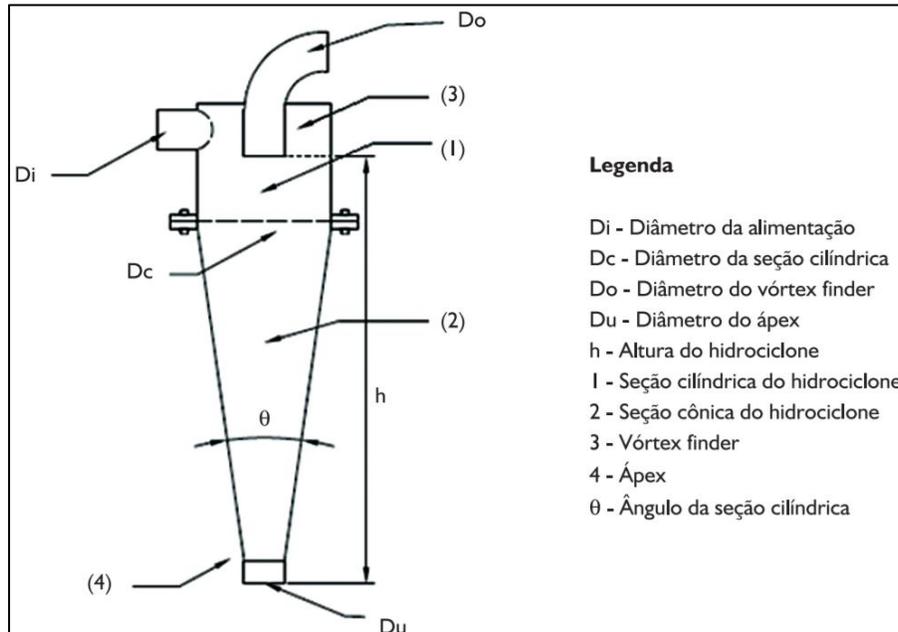
O uso de soluções de quelato de ferro para remoção do sulfeto de hidrogênio de correntes gasosas já vem sendo investigado há um certo tempo. Estes processos são baseados na oxidação do H₂S em enxofre elementar e na regeneração da solução de FeEDTA pelo oxigênio (WUBS e BEENACKERS, 1994).

A separação das partículas de enxofre é uma etapa fundamental para que ocorra a operação contínua e econômica deste processo. O acúmulo de enxofre sólido no sistema provoca a constrição do fluxo, reduzindo a capacidade de separação do processo e exigindo custos de manutenção adicional (SANTOS et al., 2013). Além disso, o enxofre sólido recuperado pode ser comercializado, o que reduziria os custos de produção.

Uma alternativa interessante para remoção de partículas de enxofre é o hidrociclone, destacando-se por separar partículas ultrafinas (faixa μm), apresentar baixo custo de fabricação, instalação e manutenção; tamanho reduzido em relação a outros separadores; elevadas capacidades; simplicidade de operação; ausência de partes móveis; e operação em sistema contínuo (VIEIRA et al., 2013).

Os hidrociclones são formados por peças cilíndricas e cônicas, como pode ser observado na Figura 1. O movimento linear de um fluido (alimentação) é convertido em um movimento circular. Deste modo, as partículas dispersas no fluido são aceleradas por centrifugação e a sedimentação das partículas aumenta, de acordo com a sua densidade, tamanho e forma. Assim, os sólidos movem-se para baixo e deixam o hidrociclone no fundo (underflow). O fluido deixa o hidrociclone no topo (overflow) (SRI-PRIYA et al., 1997).

Figura 1. Representação dos parâmetros do hidrociclone.



Fonte: Silva et al. (2012).

Os hidrociclones são agrupados em famílias, possuindo como característica a proporção entre suas medidas geométricas associadas com o diâmetro da seção cilíndrica (D_c). De acordo com Massarani (2002), as famílias mais conhecidas e estudadas são as de Rietema e de Bradley. A Tabela 1 apresenta as relações geométricas das duas famílias.

Tabela 1. Constantes de proporcionalidade entre as geometrias do hidrociclones para as famílias de Bradley e Rietema.

Família	D_i/D_c	D_o/D_c	l/D_c	L/D_c	D_u/D_c	θ
Bradley	0,133	0,200	0,330	6,850	0,070- 0,150	9°
Rietema	0,280	0,340	0,400	5,000	0,100- 0,300	10° - 20°

Fonte: Adaptado de Cremasco (2012) e Silva et al. (2012).

Pelo fato do comportamento do escoamento do fluido em um hidrociclone ser bastante complexo, existem diversos modelos empíricos propostos para auxiliar no dimensionamento do equipamento. O modelo mais utilizado para o cálculo do diâmetro de corte corrigido de hidrociclones é o modelo proposto por Plitt, sendo que ao longo dos anos foram propostas várias correções. Silva et al. (2012) propuseram a modificação da constante do modelo original de Plitt, obtida pela regressão exponencial de dados simulados para as geometrias diferentes de hidrociclones: Rietema e Bradley. A equação 1 apresenta o modelo proposto por Silva et al. (2012).

$$d_{50c} = \frac{2,54D_c^{0,46}D_i^{0,6}D_o^{1,21}\mu^{0,5}e^{0,063\varphi}}{D_u^{0,71}h^{0,38}Q_v^{0,45}(\rho_s - \rho_l)^{0,5}} \quad (1)$$

Em que:

d_{50c} : diâmetro de corte corrigido (μm);

D_c : diâmetro da seção cilíndrica do hidrociclone (cm);

D_i : diâmetro de alimentação do hidrociclone (cm);

D_o : diâmetro do *vórtex finder* (cm);

D_u : diâmetro do ápex (cm);

h : altura livre do hidrociclone (cm), representada por (L- l), medida desde o ápex até a parte inferior do *vortex finder*;

μ : viscosidade dinâmica da suspensão (cP);

φ : porcentagem de sólido na suspensão na alimentação (%);

Q_v : vazão volumétrica na alimentação (L/min);

ρ_s : densidade do sólido (g/cm^3);

ρ_l : densidade da fase líquida (g/cm^3).

A Fluidodinâmica Computacional (Computational Fluid Dynamics - CFD) é uma técnica versátil para estudar o escoamento de fluidos e tem sido amplamente empregada em várias aplicações de engenharia, incluindo na simulação de hidrociclones (VIEIRA et al., 2013)

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi simular e comparar os modelos de hidrociclone de Rietema e Bradley para remoção de partículas de enxofre de uma solução de quelante, baseado nos dados experimentais obtidos por Maia (2015). O estudo foi realizado utilizando os recursos da Fluidodinâmica Computacional (CFD).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Condições de Operação do Hidrociclone

Os dados de caracterização da suspensão e para operação do hidrociclone foram baseados na literatura, e são apresentados na Tabela 3. A viscosidade da suspensão foi considerada igual à da água, uma vez que a concentração de partículas era muito baixa.

Tabela 2. Parâmetros para o dimensionamento do hidrociclone

Parâmetros	Valores	Referência
$\mu_{\text{suspensão}}$ (cP)	0,0001	Consideração
Q_v (L/min)	$7.42 \cdot 10^{-5}$	Maia (2015)

$\rho_{\text{sólido}} \text{ (g/cm}^3\text{)}$	1,960	Maia (2015)
$\rho_{\text{líquido}} \text{ (g/cm}^3\text{)}$	1,156	Maia (2015)
$d_{50c} \text{ (}\mu\text{m)}$	1,00	Horikawa (2001)
$\Phi \text{ (\%)}$	0,3	Maia (2015)

2.2 Software

Para avaliar os modelos Rietema e Bradley, os hidrociclones foram construídos e simulados no software ANSYS (versão 19.1, licença estudantil). Para a construção do modelo geométrico foi utilizado o pacote ANSYS SpaceClaim. As malhas cartesianas foram geradas utilizando o pacote ANSYS Meshing. Para a resolução das equações diferenciais foi usado o Solver do pacote ANSYS Fluent.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1. Dimensionamento e Representação Geométrica do Hidrociclone

Para o dimensionamento do hidrociclone foi utilizada o modelo de Plitt reestruturado por Silva et al. (2012), apresentado na Equação 1. Este modelo foi escolhido devido ao fato de apresentar uma melhor aproximação dos dados experimentais, o que aumenta fidelidade dos cálculos.

Adotando o diâmetro de corte corrigido (d_{50c}) com valor igual a $1 \mu\text{m}$ e substituindo o termo h , a Equação 1 pode ser reescrita em termos de D_c , conforme apresentada na Equação 2.

$$\frac{1}{D_c^{0.46}} = \frac{2,54 D_i^{0.6} D_o^{1.21} \mu^{0.5} e^{0.063\varphi}}{d_{50c} D_u^{0.71} (L - l)^{0.38} Q_v^{0.45} (\rho_s - \rho_l)^{0.5}} \quad (2)$$

As famílias de hidrociclones Rietema e Bradley possuem parâmetros geométricos que dependem de D_c , como apresentados na Tabela 1, que podem substituir os parâmetros D_i , D_o , D_u , L e l pela sua constante de proporcionalidade multiplicado por D_c , segundo as Equações de 3a a 3e.

$$a = \frac{D_i}{D_c} \quad (3a)$$

$$b = \frac{D_o}{D_c} \quad (3b)$$

$$c = \frac{D_u}{D_c} \quad (3c)$$

$$f = \frac{L}{D_c} \quad (3d)$$

$$g = \frac{l}{D_c} \quad (3e)$$

Substituindo as constantes de proporcionalidade (a, b, c, f e g) na Equação 2, obtém-se a Equação 4.

$$\frac{1}{D_c^{0.46}} = \frac{2,54(a * D_c)^{0.6}(b * D_c)^{1.21}\mu^{0.5}e^{0.063\varphi}}{d_{50c}(c * D_c)^{0.71}(D_c * [f - g])^{0.38}Q_v^{0.45}(\rho_s - \rho_l)^{0.5}} \quad (4)$$

Logo, é possível separar a Equação 4 em duas partes, sendo a primeira uma constante C_H que depende da família do hidrociclone e a outra que depende dos parâmetros operacionais, de acordo com a Equações 5.

$$D_c = C_H \left(\frac{d_{50c} Q_v^{0.45} (\rho_s - \rho_l)^{0.5}}{\mu^{0.5} e^{0.063\varphi}} \right)^{1/1,18} \quad (5)$$

A constante C_H é dada pela Equação 6.

$$C_H = \left(\frac{c^{0,71}(f - g)^{0,38}}{2,54 a^{0,6} b^{1,21}} \right)^{1/1,18} \quad (6)$$

A constante de proporcionalidade c (D_u/D_c) é representada por uma faixa de valores (Tabela 1). Desta forma, foram escolhidos os valores mais altos, pois de acordo com Ni et al. (2018), quanto maior a abertura do ápex, maior será a eficiência de separação.

Após substituídas as constantes de proporcionalidade de cada família, Bradley e Rietema, na equação da constante C_H , obtém-se os resultados apresentados na Tabela 3:

Tabela 3. Valores de C_H para as famílias Bradley e Rietema

Família	Valor de C_H
Bradley	3.852
Rietema	2.076

Fonte: Autoria própria.

Substituindo os parâmetros operacionais do hidrociclone e características da suspensão pode-se calcular o diâmetro da seção cilíndrica (D_c) e, conseqüentemente, os demais parâmetros geométricos dos hidrociclones a serem simulados. Os dados obtidos são apresentados na Tabela 4. Para a família Rietema, o ângulo do hidrociclone de 20° foi escolhido, pois segundo Ni et al., (2018), quanto maior o ângulo do hidrociclone, melhor será a classificação das partículas.

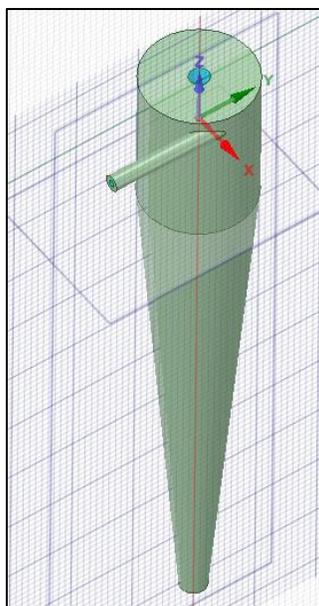
Tabela 4. Parâmetros geométricos dos hidrociclones Bradley e Rietema

Parâmetro geométrico	Bradley	Rietema
D_c (mm)	38,52	20,76
D_i (mm)	5,12	5,81
D_o (mm)	7,70	7,06
D_u (mm)	5,78	6,23
L (mm)	263,86	103,80
l (mm)	12,71	8,30
θ	9°	20°

Fonte: Autoria própria.

Na Figura 2 é apresentado a geometria do hidrociclone desenvolvida no software ANSYS SpaceClaim.

Figura 2. Hidrociclone projetado com ANSYS SpaceClaim



Fonte: Autoria própria.

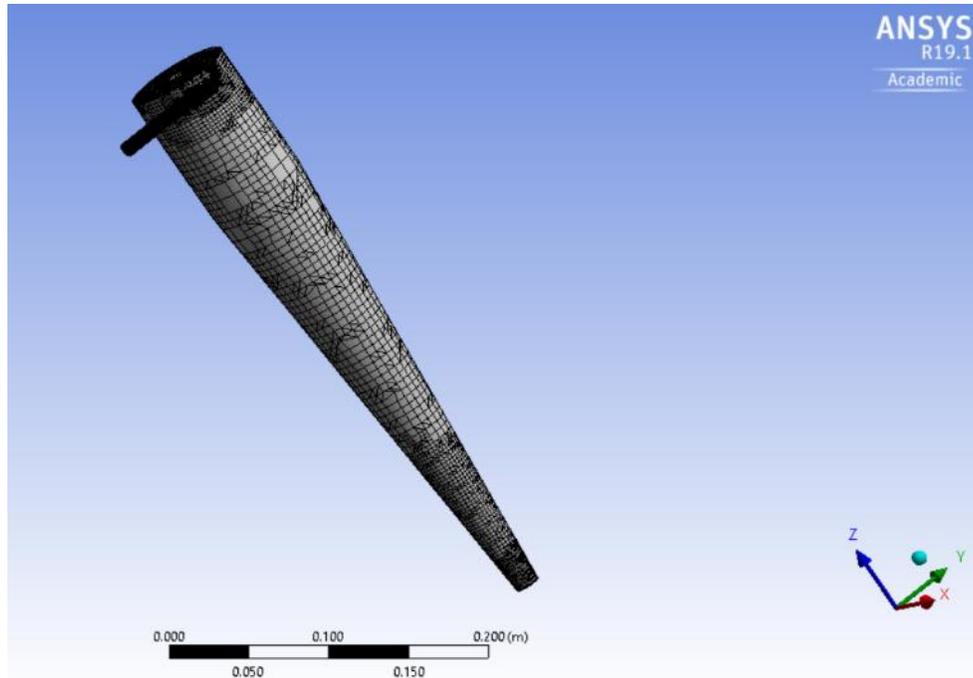
3.2 Construção da Malha

Para que o software ANSYS Fluent possa fazer as simulações é preciso fazer com que o modelo tridimensional adquira uma superfície, onde os cálculos serão realizados. Neste caso a malha foi gerada automaticamente baseando-se no sistema cartesiano de Cutcell.

As malhas computacionais utilizadas foram bidimensionais com aproximadamente 17.867 células e 20.656 nódulos para a geometria Bradley e 13.990 células e 16.253 nódulos para a geometria Rietema, um exemplo deste tipo de malha está apresentado na Figura 3. A malha cartesiana permite a realização de cálculos

mais precisos e seguros, representando com maior fidelidade os fenômenos interfaciais (STOLARSKI et al., 2018).

Figura 3. Malha cartesiana feita com ANSYS Meshing



Fonte: Autoria própria.

3.3 Simulação e Resolução das Equações Diferenciais com Ansys Fluent

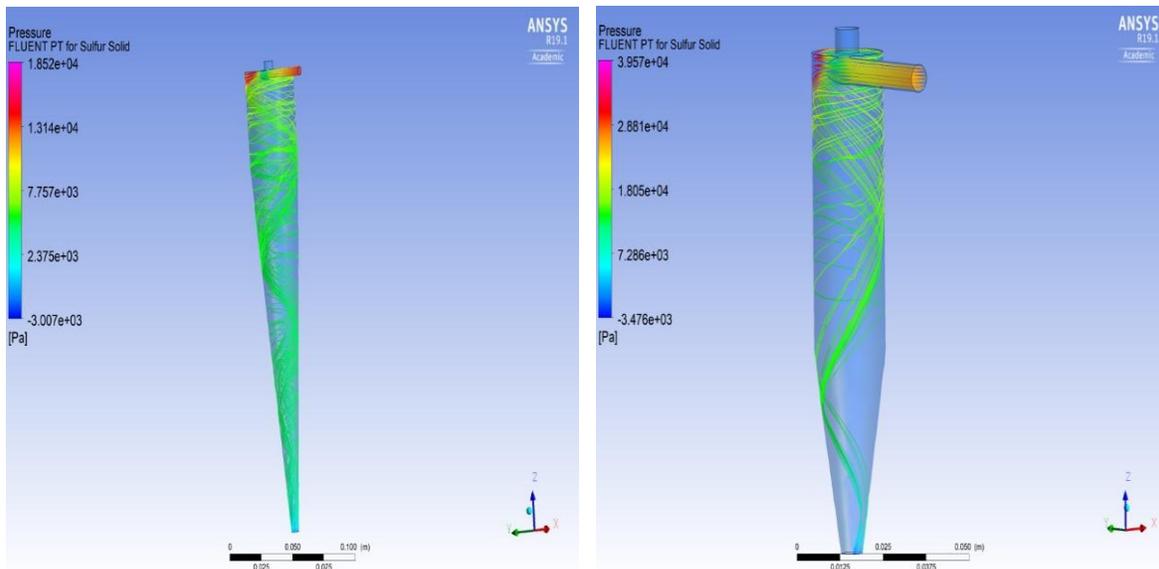
O programa ANSYS Fluent proporciona uma resolução rápida das equações de segunda ordem de pressão, momento linear, energia cinética turbulenta e de taxa de dissipação para cada uma das faces criadas na fase de criação de malha, utilizando o gradiente de “least squares cell based”. A simulação utilizada para testar as geometrias foi a de mistura multifásica com solver baseado em pressão.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para avaliar os resultados da simulação dos modelos de hidrociclones das famílias Rietema e Bradley foram analisados os resultados de queda de pressão, tempo de residência e viscosidade de Eddy. Esses fatores determinam a boa funcionalidade do equipamento, o qual é destinado para separação de duas fases de um sistema.

Na Figura 4 são apresentados os perfis simulados para a pressão relativa no interior dos hidrociclones Bradley e Rietema, respectivamente. Em relação ao perfil de pressão nos hidrociclones, pode-se observar um resultado condizente com o esperado, pois na entrada da parte cilíndrica há os maiores níveis de pressão, para ambas famílias.

Figura 4. Perfil de pressão sob os caminhos de partícula para o hidrociclone Bradley e Rietema.

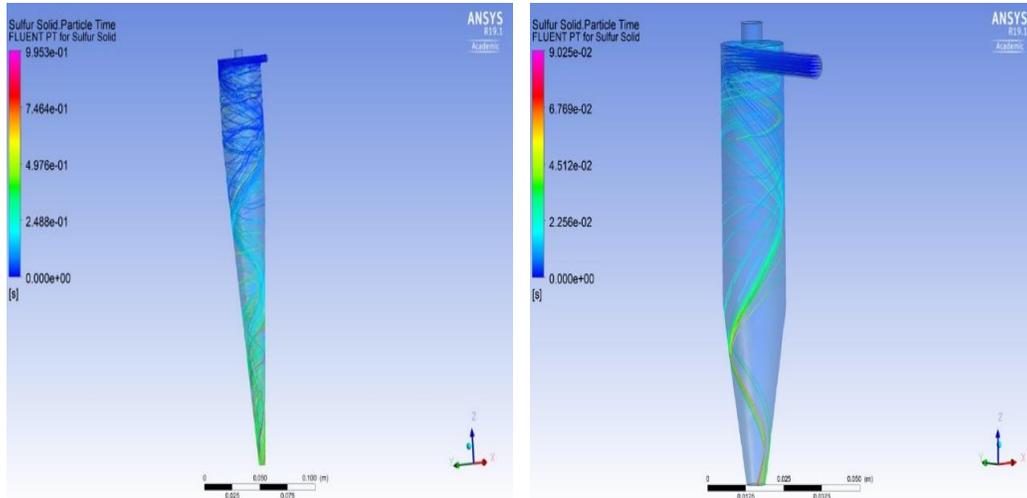


Fonte: Autoria própria.

Entretanto, a queda de pressão no hidrociclone Bradley é maior se comparado ao Rietema. Uma possível explicação para este fenômeno, pode ser em decorrência da diferença entre os diâmetros do vortex finder, corroborando com os resultados de Ni et al. (2018). Quanto maior a queda de pressão, maior serão os números de Euler e maior será a energia necessária para bombear a solução pelo sistema. Desta forma, para as mesmas condições, o hidrociclone Bradley seria menos eficiente em termos de uso de energia do que o hidrociclone Rietema.

Na Figura 5 são apresentados os perfis de tempo de residência das partículas para ambos os hidrociclones. Como se pode notar, o tempo médio de residência no hidrociclone Rietema é maior do que o tempo de residência no hidrociclone Bradley. O maior tempo de residência é decorrente do maior diâmetro de entrada do hidrociclone Rietema. Como as vazões volumétricas são as mesmas para ambos, quanto maior o diâmetro de entrada, maior a área, conseqüentemente, menor a velocidade. Uma velocidade menor de entrada acarreta em uma queda de pressão menor no sistema e um aumento no tempo de residência médio das partículas. Segundo Ni et al., (2018), quanto maior a tempo de residência de uma partícula no sistema, maior será a eficiência separação global do sistema particulado.

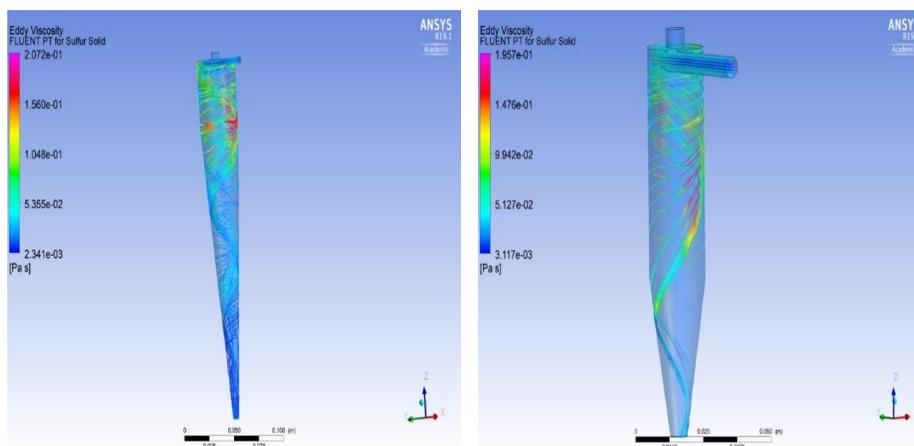
Figura 5. Perfil do tempo de residência sob os caminhos de partícula para o hidrociclone Bradley e Rietema.



Fonte: Autoria própria.

A última análise foi sobre os perfis da viscosidade Eddy, apresentados na Figura 6. Ao avaliar a simulação, pode-se afirmar que a viscosidade Eddy sob o hidrociclone Bradley é maior do que sob o hidrociclone Rietema. A viscosidade Eddy é uma medida da transferência de momento convectivo causada pelo fluxo turbulento, que por consequência, aumenta as tensões sob as paredes do hidrociclone e diminui a eficiência e a energia cinética do sistema, logo, é possível afirmar que o hidrociclone Bradley terá uma eficiência mais baixa se comparado com o hidrociclone Rietema.

Figura 6. Viscosidade Eddy sob os caminhos de partícula para o hidrociclone Bradley e Rietema



Fonte: Autoria própria.

5. CONCLUSÃO

Ao avaliar e comparar os resultados da simulação dos modelos de hidrociclones das famílias Rietema e Bradley é possível concluir preliminarmente que, para este caso, o hidrociclone Rietema é o mais indicado por ter apresentado uma menor queda de pressão, um maior tempo médio de residência e uma menor viscosidade Eddy. Para elucidar a escolha da família Rietema ainda são necessárias outras análises, entre elas, determinar a eficiência de separação do enxofre da solução quente por meio da simulação e validar experimentalmente.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Departamento de Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá e ao auxílio financeiro do CNPq por tornarem este trabalho possível.

REFERÊNCIAS

- CREMASCO, M. Operações Unitárias em Sistemas Particulados e Fluidomecânicos, p. 193-209, 2012.
- HORIKAWA, M. S. Purificação de biogas - Remoção de H₂S. Dissertação, PEQ, Universidade Estadual de Maringá, Brasil, 2001.
- MAIA, D. C. S. Desenvolvimento de um processo de purificação de biogás para uso energético. Tese, PEQ, Universidade Estadual de Maringá, Brasil, 2015.
- MASSARANI, G. Fluidodinâmica em sistemas particulados. Editora E-papers, 1997.
- NI, L.; TIAN, J.; SONG, T.; JONG, Y.; ZHAO, J. Optimizing Geometric Parameters in Hydrocyclones for Enhanced Separations: A Review and Perspective. Separation & Purification Reviews, v. 00, p. 1-22, 2018.
- SANTOS, L. C.; SANTOS, J. P.; LOBATO, A. C.; MORAES, C. Study of the operating conditions on the deposition of natural gas in pipelines. Journal of Petroleum & Environmental Biotechnology, 4, 181, 2013.
- SILVA, A. C.; SILVA, E. S.; MATOS, J. Modelo Empírico para Cálculo do Diâmetro de Corte Corrigido de Hidrociclones. Tecnol. Metal. Mater. Miner., São Paulo, v. 9, n. 4, p. 302-308, 2012.
- SRIPRIYA, R.; KAULASKAR, M. D.; CHAKRABORTY, S.; MEIKAP, B. C. Studies on the performance of a hydrocyclone and modeling for flow characterization in presence and absence of air core. Chemical Engineering Science, 65, 21-26, 1997.
- STOLARSKI, T.; NAKASONE, Y./ YOSHIMOTO, S. Análise de engenharia com software ANSYS. Butterworth-Heinemann, 2018.
- VIEIRA, L. G. M.; SILVA, D. O.; BARROZO, M. A. S. Study of the Performance of a Novel Hydrocyclone Built in the Configurations of the Classical Families. Separation Science and Technology, v. 48, n. 17, p. 2700-2706, 2013.
- WUBS, H. J.; BEENACKERS, A. A. Kinetics of H₂S Absorption into Aqueous Ferric Solutions of EDTA and HEDTA. AIChE Journal, 40, 433-444, 1994.

UTILIZAÇÃO DE REDE NEURAL ARTIFICIAL PARA CONTROLE DE ESTOURO EM MÁQUINA DE PAPEL KRAFT



Renato do Nascimento Viana¹, Rodrigo de Souza Barbosa², Osvaldo Vieira³, Ivo Neitzel⁴

RESUMO

Em uma linha de fabricação de papel, o teste de arrebatamento ou estouro, pode demorar significativamente em termos de processo, devendo-se ao fato de uma máquina de papel rodar continuamente. Assim a retirada de uma amostra depende do intervalo de tempo que um rolo jumbo será produzido. Além deste fator o tempo de teste, condicionamento do corpo de prova e lançamento no sistema do resultado pode gerar uma perda de inúmeros metros de papel que estejam com seu parâmetro de estouro fora dos limites estabelecidos. Com uma rede neural artificial construída através de variáveis importantes para o teste de estouro gerou-se um algoritmo capaz de prever o valor do teste em tempo real e com assertividade razoável, sendo um meio de geração de um sensor virtual que atue junto aos controladores da máquina de papel.

Palavras-chave: Teste de estouro; Rede neural; Inteligência artificial.

ABSTRACT

In a paper making line, the bursting or bursting test can take a significant amount of time to process, due to the fact that a paper machine rolls continuously. Thus, withdrawal of a sample depends on the time interval that a jumbo roll will be produced. In addition to this factor, the test time, test body conditioning and release into the result system can generate a loss of several meters of paper that have their overflow parameter outside the established limits. With an artificial neural network constructed through variables important for the overflow test, an algorithm was generated able to predict the value of the test in real time and with reasonable assertiveness, being a means of generating a virtual sensor that acts together with the controllers of the paper machine.

Keywords: Mullen test; Neural network; Artificial intelligence.

1. INTRODUÇÃO

O crescente uso de papel para transportar produtos, tem tornado os tipos e características dos papéis cada vez mais amplos. As características físicas do produto determinam, na maioria das vezes, o tipo de papel a ser usado. A sua especificação depende das condições de movimentação, armazenagem e transporte, mas a sua principal função é resistir a carga de pressão exercida pelo produto. Sendo assim a determinação da resistência ao arrebatamento das fibras

¹ Acadêmico do curso de Engenharia Química da FATEB – e-mail: <renatoviana.paper@gmail.com>.

² Acadêmico do curso de Engenharia Química da FATEB – e-mail: <souza1908@hotmail.com >.

³ Coordenador do curso de Engenharia Química da FATEB – e-mail: <osvaldovieira@fatebtb.edu.br>.

⁴ Coordenador geral das Engenharias da FATEB – e-mail: <ivo.neitzel@fatebtb.edu.br>.

que formam o papel, é imprescindível para que se possa fabricar o papel ideal para cada caso específico de uso.

Dependendo da aplicação, linha de produção, produto embalado, transporte, ambiente de acondicionamento (umidade/temperatura), peso e manuseio, estudos teóricos e práticos são realizados para determinação da especificação do papel. Com isso, espera-se que o papel cumpra o seu objetivo de acondicionar, transportar e proteger os produtos, mantendo as suas características originais.

Como exemplos de papéis que são usados para atender a necessidades de embalagens estão o papelão, papel cartão, entre outros. O papel utilizado para embalar cimento, possui alta resistência ao arrebentamento, pois a pressão que esse deve suportar é alta, já que esses volumes em geral pesam em torno de cinquenta quilos, bem diferente de sacos de pães, que suportam pesos pequenos em relação ao cimento, no entanto, ambos tem que atender as suas necessidades. Neste cenário o ensaio laboratorial de arrebentamento ou estouro se torna fundamental, pois fica evidenciado que se deve conhecer os limites do papel que está sendo fabricado, devido a este ser posteriormente submetido a uma carga, onde não pode exceder seus limites. (INSTITUTO DE EMBALAGENS, 2009).

2. METODOLOGIA

O presente trabalho consiste no levantamento bibliográfico teórico do tema tratado junto a análise de dados do processo produtivo de uma máquina de papel Kraft.

Para a análise dos dados de histórico de processo, será estudado os seguintes parâmetros e variáveis que afetam de forma direta e indireta o teste de arrebentamento:

- Grau de refinação (carga dos refinadores, energia interna e Schopper Riegler);
- Perfil de vácuo na mesa formadora;
- Gramatura, umidade e espessura da folha;
- Aditivos adicionados a receita (amido, sulfato de alumínio);
- Consistência na caixa na entrada e retenção de fibras na tela formadora.

2.1. Levantamento dos Dados

O teste de estouro foi realizado conforme a norma regulamentadora, e coletado junto aos dados do histórico de processo em um intervalo de 45 minutos, o tempo médio para fabricação de um rolo de papel na máquina estudada. Todas as variáveis envolvidas foram coletadas no período de meio ano de produção.

Com a coleta dos dados, realizou-se a limpeza dos mesmos com base no status da máquina (em produção, quebra ou parada). Valores discrepantes foram eliminados dos dados utilizados para construção da rede neural.

2.2. Escolha das Variáveis

O processo de seleção das variáveis envolvidas consistiu no estudo teórico de conteúdo técnico fundamentado, junto a experiência dos operadores da máquina de papel estudada. O conhecimento empírico da operação do equipamento é fundamental para se refinar as variáveis essenciais.

3. DESENVOLVIMENTO

A importância do papel e dos produtos papeleros na vida moderna é óbvia. Não há nenhum produto manufaturado que tenha tanta importância em qualquer área da atividade humana. O papel constitui um meio para guardar, armazenar, e difundir informação. A maior parte da impressão se faz sobre o papel. É o material mais usado em embalagens, e diversas outras operações. (SMOOK,1990)

3.1 Uma Visão Geral da Fabricação de Papel

Para o fabrico do papel, é possível empregar diversas matérias primas fibrosas, dentre as quais a madeira de pinus e eucalipto são as mais utilizadas. Em princípio todos os materiais fibrosos servem para fabricação de papel, variando apenas o processo pelo qual a matéria será processada. (ANDRIONI, 2006)

Para a conversão das matérias-primas em papel, é necessário separar as uniões da estrutura da madeira, processo que pode ser feito mecanicamente, quimicamente, termicamente ou pela combinação desses tratamentos, que resultarão em fibras individualizadas. (SMOOK,1990)

As propriedades finais do papel estão diretamente relacionadas com as propriedades das fibras que são utilizadas para sua fabricação. (YASUMURA; ALMEIDA; park, 2008)

Com a finalidade de efetuar mudanças físicas nas fibras individualizadas, para gerar certas propriedades no papel acabado, submetem-se as fibras ao processo de refinação, o qual estará modificando-as de maneira que a resistência à tração, ao estouro, rasgo, entre outras, acabem sendo elevadas. (LUNDIN, et al, 2009)

3.2. O Papel Kraft e Suas Características

O papel Kraft tem como principal característica a resistência mecânica, devido a utilização de fibras curtas e longas no processo de fabricação da polpa, fornecendo assim um bom desempenho na máquina. O papel Kraft é utilizado na produção de caixas de papelão, sacos, sacolas e outros tipos de embalagens (INSTITUTO DE EMBALAGENS, 2009).

O papelão ondulado é constituído por várias camadas de papéis Kraft, formando uma estrutura composta por miolo fixados à capas denominadas Kraft liner e Test liner (FRANCO, 2015).

O Kraft liner é fabricado com alto percentual de fibras virgens, apresentando alta resistência mecânica, com gramatura entre 90 e 440 g/m². No entanto, o Test liner apresenta propriedades mecânicas inferiores devido à grande quantidade de matérias-primas recicladas utilizadas na fabricação, com gramatura entre 110 a 220 g/m². Na fabricação de miolo, a matéria-prima pode ser papel reciclado ou pasta semiquímica (INSTITUTO DE EMBALAGENS, 2009).

3.3. Teste de Estouro

O ensaio de resistência ao arrebentamento ou estouro é um dos mais antigos, devido a ser relativamente simples, ainda é usado nas fábricas, no acompanhamento de rotina e para caracterização.

O estouro é definido como a pressão necessária para produzir o arrebentamento do papel ao se aplicar uma pressão uniformemente direcionada por um diafragma elástico de área circular. É a pressão máxima que uma única folha de papel pode suportar sob as condições de ensaio. Esta pressão é uniformemente distribuída e aplicada perpendicularmente à superfície do papel.

Essa medição não depende da direção de fabricação do papel, pois a força transmitida pelo diafragma é perpendicular à superfície do papel.

A pressão limite no momento de ruptura é chamado de resistência ao arrebentamento, e a sua unidade recomendada por norma é KPa, sendo o aparelho usado o Mullen.

3.4. Fatores que Influenciam o Estouro

Com um aumento da refinação a resistência o estouro aumenta, mas com excesso da mesma tende a cair a resistência. E também a gramatura, umidade e espessura têm influência direta com a resistência ao estouro.

A resistência ao estouro é controlada por diversos fatores:

- A resistência ao estouro aumenta com crescente refinação, podendo decrescer com excesso desta. A baixa resistência ao estouro pode estar relacionada ao corte das fibras no refinador;
- As variações na gramatura, umidade e espessura causam comumente variação ao estouro devido a alterarem a composição mássica da folha;
- O uso de insumos (colas, polímeros, minerais e enzimas) impacta consideravelmente o comportamento do papel e o resultado do ensaio de estouro;
- O aumento do refino é gerado pelo aumento da carga dos refinadores, portanto esta variável é um parâmetro importante no teste de estouro.

3.4.1 A Influência da Refinação no Estouro

A refinação tem influência em todas as propriedades do papel, inclusive no teste de estouro, sendo que qualquer alteração para melhoria de determinada propriedade resultará na diminuição de outra. Dessa forma nota-se que é necessário manter um equilíbrio entre todas as propriedades do produto final, sendo este o objetivo do processo de refinação. (PULKKINEN, FISCARI e AITTAMAA, 2007)

Um papel que fosse fabricado com fibras que não passassem pelo processo de refino teria volume muito elevado, propriedades mecânicas baixas, superfície irregular, estrutura aberta e formação desuniforme. Devido a esses fatores as fibras são submetidas ao refino, onde são modificadas mediante esse processo, que geralmente é feito em refinadores de dois tipos, o cônico e o de discos. (Pepe, 2000)

Tanto o refinador cônico, quanto o de disco, possuem guarnições, barras que atuam como laminas no refino. No entanto os refinadores de discos possuem maior área de refino, o que gera uma preferência por ele, pois se pode otimizar o uso de energia aumentando a capacidade de processamento de fibras. (Andrioni, 2006)

No refinador de disco, a suspensão fibrosa passa entre duas superfícies compostas de barras. Uma dessas superfícies é estática e a outra faz um movimento perpendicular ao eixo rotativo que a move, o que acaba gerando um efeito de corte, achatamento e fricção nas fibras, que acontece entre elas e as superfícies do refinador. (ANDRIONI, 2006)

Durante a passagem pelas superfícies do refinador, o material fibroso é submetido à força centrífuga resultante do rotor, que gera a força de atrito decorrente da pressão das barras do estator e rotor e do contato entre fibras. (DONG E LIANG, 2008)

Devido a estes trabalhos mecânicos, a camada primária das fibras é parcialmente removida expondo as paredes secundárias. O que permite a

penetração da água no interior das fibras, já que a parede primária é relativamente impermeável, e essa penetração é chamada de hidratação. Absorvendo a água, acontece o inchamento da fibra possibilitando a fibrilação interna. (YASUMURA; ALMEIDA; park, 2008)

As paredes secundárias possuem uma determinada quantidade de fibrilas, e a fibrilação externa ocorre com a saída das fibrilas dessa parede, que acontece através dos furos existentes na capa externa. A fibra se torna mais flexível e macia através dos fenômenos de hidratação e fibrilação, pois através deles adquire o aspecto desfiado aumentando consideravelmente a sua superfície e volume específico. (MANGIN, Kaefer e Augusto, 2009)

O controle no refinador de disco (figura 01) se dá pela regulagem da distância dos discos, que pode ser feita manualmente por um volante ou automaticamente por um sistema elétrico. A proximidade dos discos estará afetando o grau de refino, mas é fato que a versatilidade do refinador dependerá do modelo de disco usado. (Andrioni, 2006)

Figura 01 – Refinador de disco aberto



Fonte: Catalogo CFF, (2013)

A tecnologia dos microprocessadores permitiu que houvesse diversos controles do grau de refino automaticamente. Ainda assim praticamente todos os sistemas de controles possuem um dispositivo para calibração dos discos.

Um sistema básico de controle possui um set point ajustado para que o refinador mantenha certo nível de carga (KW). No entanto, o principal dado para o controle do refinador é o grau de drenabilidade da polpa. (PEPE, 2000)

Embora muitas fábricas possuam refinadores interligados com medidores automáticos de Schopper Riegler ou de Canadian Standard Freeness, a maioria das fábricas não possuem este sistema, dependendo então da análise laboratorial. Mesmo os aparelhos in line devem ser calibrados, baseados nessas análises.

3.4.2. Impacto do Refino no Perfil de Vácuo da Seção de Formação

Na formação do papel é necessário retirar a água que compõe a suspensão de fibras, para isso, às máquinas de papel possuem a seção de formação. A princípio a retirada da água é pela pressão do jato de fibras e água que é descarregado sobre a tela. Nesse ponto inicial, a drenagem é por gravidade, através de foils, que são réguas com ou sem ângulos que geram um pequeno vácuo. Posteriormente há o emprego de caixas de baixo e alto vácuo, que extraem a água que não drena mais por influência da gravidade. (ghosh, 2011)

No entanto, a drenagem da água na máquina de papel é influenciada diretamente pelo grau de refino da polpa, que é intensificado com a aproximação dos discos do refinador. (PROLUULX, 2000)

Com o aumento do grau de refino, a fibra sofre um aumento na sua flexibilidade e colapso, além da formação de finos, o que acaba dificultando a drenagem de água na mesa formadora. (PROLUULX, 2000)

Na mesa plana, quando se olha desde a parte superior, é visível na tela formadora (normalmente nas proximidades da segunda caixa de vácuo) uma linha de demarcação definida, que corresponde com o ponto onde deixa de estar presente uma capa de água espelhada na superfície da polpa (figura 02), denominada de espelho. (SMOOK, 1990)

A posição e forma do espelho pode ser usado pelo operador da máquina como parâmetro de controle da parte úmida. Qualquer mudança na linha d'água do espelho é um indicativo de uma modificação na drenagem da polpa e deve ser compensada para que a umidade no final da seção de drenagem esteja no padrão esperado, pois se isso não for corrigido, a secagem do papel poderá gastar mais vapor. (SMOOK, 1990)

Conseqüentemente com o aumento do grau de refino, a linha d'água avança na mesa formadora, pois a retirada de água exige um maior esforço dos elementos de drenagem, porém, quando esse aumento não é programado, o papel passa sair da seção de formação com um maior teor de umidade. (PROLUULX, 2000)

Como na maioria das pastas o tempo de drenagem aumenta com o tempo de refino, a passagem da água é dificultada pela refinação, gerando uma mudança tanto no espelho da seção de formação quanto no perfil de vácuo da mesa formadora. A mudança no perfil de vácuo é um importante controle empírico do teste de estouro, pois está correlacionada devido ao vácuo aumentar no sentido negativo para retirada de água quando se aumenta o refino e indiretamente se aumenta o estouro. (SENAI, 2006)

Figura 02 – Espelho d'água



Fonte: Catálogo Beloit, (1993).

3.4.3. Impacto Do Ph Na Refinação E Estouro

Muitos insumos são adicionados durante a fabricação do papel, como o sulfato de alumínio para o controle de pH. Os distintos produtos presentes na forma de aditivos na suspensão fibrosa durante o refino ou após exercem um efeito impactante nas características do papel, podendo esse ser favorável ou desfavorável.

É fato que em meio ácido ou fortemente alcalino as propriedades físicas do papel são influenciadas de forma adversa. Determinou-se que o pH próximo de 8 é o mais satisfatório. No entanto controla-se o pH na faixa de 4,3 à 8, muitas vezes utilizando esta variável no valor de 7 (neutro) devido a colagem ser considerada ótima neste valor. (ANDRIONI, 2006)

3.4.4. Utilização de Amido para Elevação dos Testes Físicos

O amido é um aditivo muito utilizado na indústria papeleira, além de sua aplicação na colagem de sacos e produtos acabados, ele também é utilizado para elevação dos testes físicos. Através da melhora de propriedades mecânicas e superficiais do papel, o amido altera positivamente o teste de estouro entre outros.

Obtido normalmente de trigo, mandioca e milho, o amido é normalmente aplicado a fim de proporcionar maior resistência interna ao papel formado. Melhorando a resistência a penetração de líquidos e superficialmente lisura e rigidez. (ANDRIONI, 2006)

3.4.5. Gramatura e Umidade em Máquina de Papel

A gramatura e umidade tem impacto direto no teste de estouro, devido a referir-se a quantidade de massa e água contidas no papel.

Gramatura é a medida de massa por uma área na folha de papel, expressa em gramas por metro quadrado (g/m^2). A gramatura influencia diretamente na espessura do papel, em função da quantidade de fibras depositadas em uma área específica. Papeis mais pesados são também mais espessos por terem mais massa por metro quadrado.

Quando se trata de umidade do papel refere-se a quantidade de água presente na folha expressa em porcentagem. Na máquina de papel, a gramatura e umidade são acompanhadas por um sensor que percorre toda a largura da folha e gera um perfil de gramatura, umidade e espessura com diversos pontos, através desse perfil o sistema calcula os desvios de cada ponto em relação à média de todos os pontos medidos. (ANDRIONI, 2006)

3.5. Retirada de Amostras da Linha de Produção

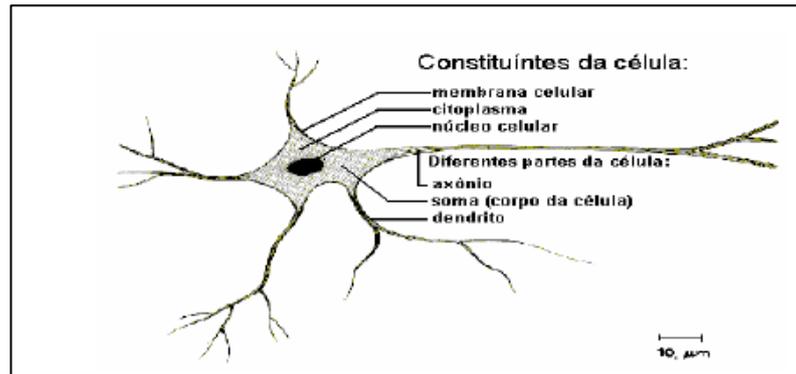
A máquina de papel é composta essencialmente por três etapas, sendo a formação, prensagem e secagem da folha de papel. A máquina de papel tem como último equipamento a enroladeira, que enrola em um carretel a folha de papel até um diâmetro específico formando uma bobina mãe (ou rolo jumbo). Geralmente a amostra é retirada transversalmente do rolo jumbo para ser gerado corpos de prova para o teste de arrebentamento ou estouro, no entanto, o tempo entre rolos jumbos a saírem da máquina de papel varia consideravelmente em relação a velocidade de operação de cada máquina.

Com o emprego de um método que gerasse o valor do teste de estouro em tempo real, a operação da máquina poderia realizar correções em tempo real, evitando a desclassificação de grandes volumes de papel. As redes neurais ampliaram as possibilidades na indústria, em função desta ferramenta poder atuar como um sensor virtual, fazendo a previsão de uma variável através de análise de parâmetros do processo que estão direta e indiretamente relacionados com a variável em questão.

3.6. Redes Neurais

Quando pensamos no cérebro humano, lembramos o quão complexa é essa estrutura, os milhões de neurônios. Devido à complexidade do sistema 100 mil neurônios se armazenam em apenas um milímetro cúbico de tecido cerebral (COSTA, 2006). Como os neurônios são as principais células do sistema nervoso, cada um deles se comunicam entre si emitindo sinais que ao final será executado pelo axônio para realizar algumas ações. O intuito da rede neural é tomar como base essas atividades decorrentes do nosso cérebro. A figura 03 mostra o esquema de um neurônio biológico e suas sinapses (COSTA, 2006).

Figura 03– Neurônio Biológico



Fonte: (COSTA,2006)

3.6.1. O Aprendizado das Redes Neurais

Podemos citar como vantagem da rede neural é que ela não funciona como um computador tradicional. A rede é “ensinada” para que consiga executar a função. De tal forma, que se a rede conseguir ser configurada, obteremos a execução de diversas atividades diferentes, além do detalhe de não nos preocupamos com a memória.

Se for necessário mudar as regras por exemplo, mudar uma cor de algum produto, basta somente ensinar a mesma rede existente para a execução dessa nova função. As redes neurais são principalmente utilizadas para criar sistemas de inteligência artificial. A verdadeira inteligência tem por meta resolver problemas de forma eficaz (ASSIS, 2009).

3.6.2. Uso De Sensores Virtuais em Processos Industriais

Os sensores virtuais recebem esses nome devido a relação de uma das aplicações principais de sensores físicos por sensores via “software”, ainda são conhecidos como Soft sensor ou analisador virtual. Quando um sensor é usado para estimar estados é chamado de “observador de estados” (ZANATA,2005).

Podemos considerar que o sensor virtual (soft-sensor ou estimador inferencial) pode ser considerado como uma união da tecnologia de Sensores Inteligentes aliado as técnicas de Modelagem e Identificação de Sistemas. Estes sensores vem sendo empregados junto a uma ferramenta que possua os dados do processo, assim podendo realizar previsões em tempo real.

3.6.3. Software Multiple Back Propagation (MBP)

A Múltipla Propagação Reversa é uma aplicação de software para treinamento de redes neurais com os algoritmos Back-Propagation e Multiple Back Propagation. A qual utilizou-se neste estudo para construção da RNA (rede neural artificial).

Este software tem as seguintes funções:

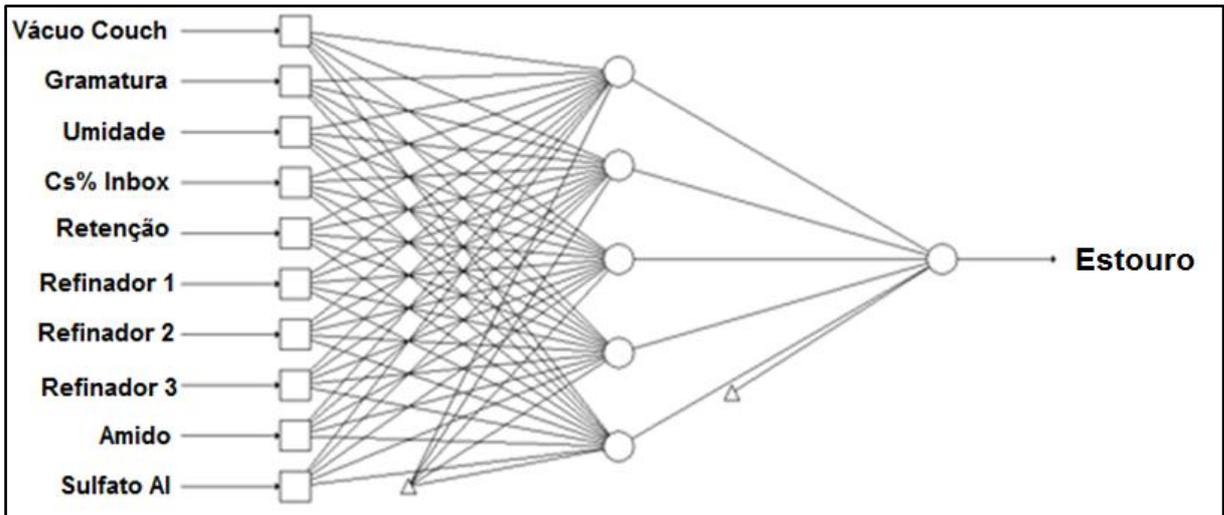
- Planilha de dados;
- Plotador de dados;
- Construção e treinamento de modelos de predição;
- Ferramentas de análise de modelos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Resultados

A rede proposta tem o modelo da figura 04, a mesma contém uma camada de 5 neurônios, a qual durante os testes e aprendizado da rede neural se mostrou mais adequada em termos da resposta.

Figura 04 – Rede neural construída



Fonte: O autor (2018)

Como se nota na estrutura da rede neural artificial construída (RNA), são dez variáveis de entrada (Input) para a obtenção de uma saída (Output). A saída é o estouro, o teste físico que com esta estrutura pode ser predito em tempo real.

Implementou-se distintos números de neurônios, em diversas camadas. A resposta obtida com uma rede mais simples aproximou-se mais do valor real desejado.

Através da construção e aprendizado desta rede neural, gerou-se o código C, o qual abstrai o trabalho dos neurônios. C é uma linguagem imperativa e procedural para implementação de sistemas. Seus pontos de design foram formados para ele ser compilado, fornecendo acesso irrestrito a memória e baixos requerimentos do hardware.

Apresenta-se abaixo parte do código C gerado para esta RNA:

```
Inputs[0] = -1.0 + (inputs[0] - 5.135100000000000) / 0.4090000000000000;  
Inputs[1] = -1.0 + (inputs[1] - 77.392200000000003) / 24.971049999999998;  
Inputs[2] = -1.0 + (inputs[2] - 2.400500000000000) / 4.703450000000000;  
Inputs[3] = -1.0 + (inputs[3] - 0.600000000000000) / 2.550000000000000;  
Inputs[4] = -1.0 + (inputs[4] - 80.980000000000004) / 9.509999999999998;  
Inputs[5] = -1.0 + (inputs[5] - 0.246100000000000) / 53.479500000000002;  
Inputs[6] = -1.0 + (inputs[6] - 0.140600000000000) / 55.286449999999995;  
Inputs[7] = -1.0 + (inputs[7] - 63.604199999999999) / 23.364549999999998;  
Inputs[8] = -1.0 + (inputs[8] - 0.002200000000000) / 15.798150000000001;  
Inputs[9] = -1.0 + (inputs[9] - 6.421900000000000) / 19.382800000000000;  
hiddenLayer1outputs[0] = *mw++;
```

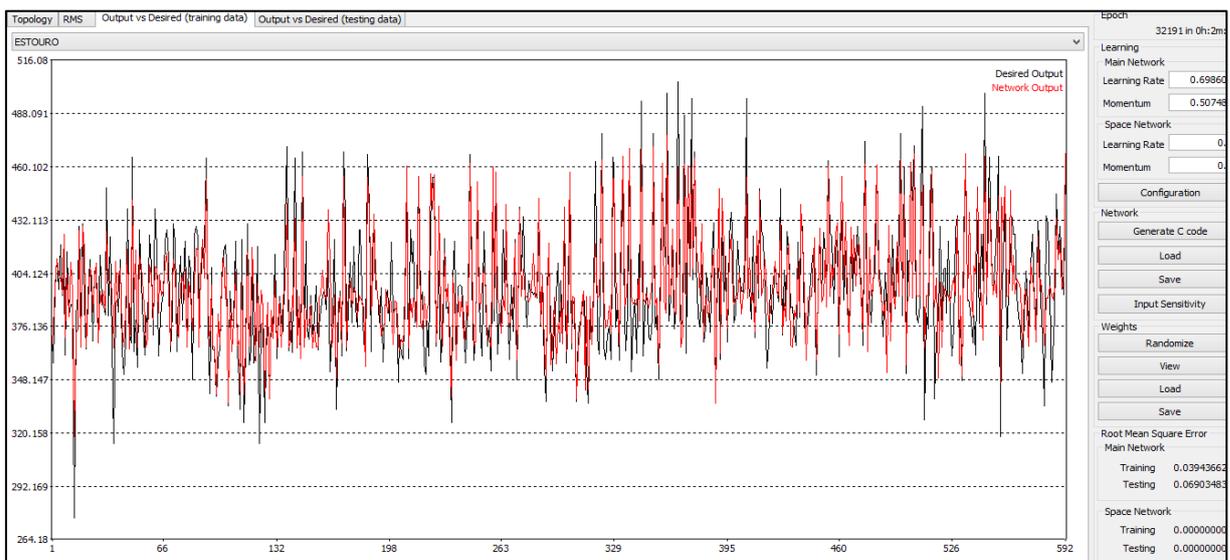
```
For (c = 0; c < 10; c++) hiddenLayer1outputs[0] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1outputs[0] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1outputs[0]));
hiddenLayer1outputs[1] = *mw++;
for(c = 0; c < 10; c++) hiddenLayer1outputs[1] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1outputs[1] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1outputs[1]));
hiddenLayer1outputs[2] = *mw++;
for(c = 0; c < 10; c++) hiddenLayer1outputs[2] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1outputs[2] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1outputs[2]));
hiddenLayer1outputs[3] = *mw++;
for(c = 0; c < 10; c++) hiddenLayer1outputs[3] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1outputs[3] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1outputs[3]));
hiddenLayer1outputs[4] = *mw++;
for(c = 0; c < 10; c++) hiddenLayer1outputs[4] += *mw++ * inputs[c];
hiddenLayer1outputs[4] = 1.0 / (1.0 + exp(-hiddenLayer1outputs[4]));
outputs[0] = *mw++;
for(c = 0; c < 5; c++) outputs[0] += *mw++ * hiddenLayer1outputs[c];
outputs[0] = 1.0 / (1.0 + exp(-outputs[0]));
outputs[0] = 275.63000000000000 + (outputs[0] - 0.000000) *
229.00000000000000;
```

O código completo é responsável pelo cálculo do teste de estouro, podendo ser implementado para teste como um sensor virtual.

4.2. Discussão de Resultados

A rede neural artificial gerada foi testada no período de 32191 épocas, sendo razoável para o aprendizado da rede. Abaixo temos (figura 05) os dados de aprendizado sendo processados.

Figura 05 – Treinamento da RNA



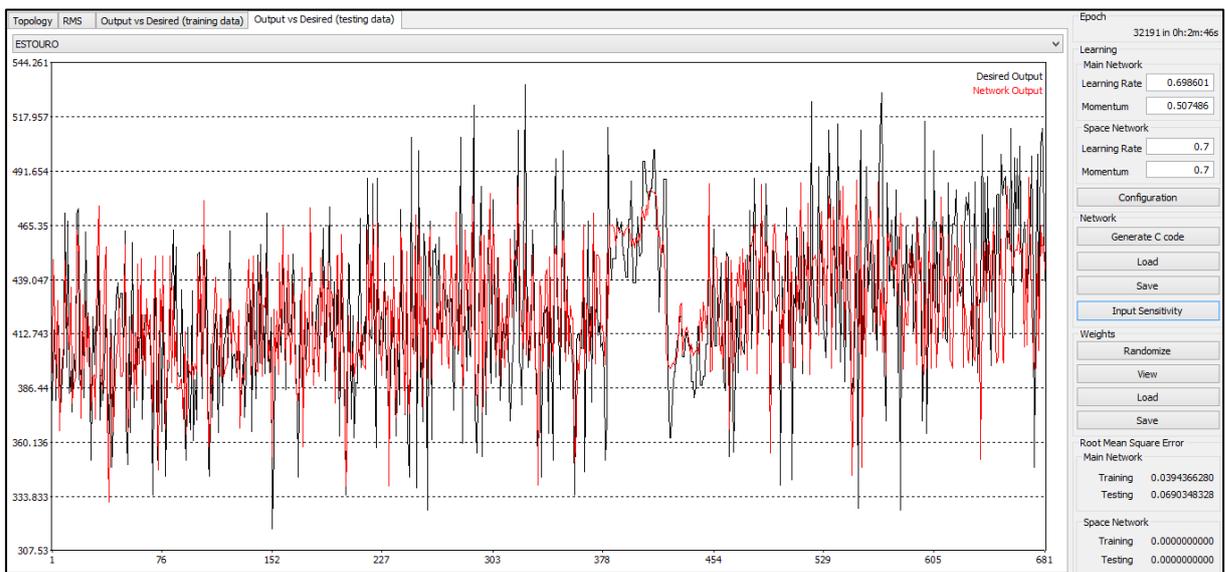
Fonte: O autor (2018)

Nesta representação observa-se duas cores distintas, o vermelho e preto. Elas correspondem respectivamente aos dados de saída da rede e os valores reais utilizados para o aprendizado da RNA.

Observa-se que ambos caminham de forma proporcional, na maioria dos pontos. Isto indica que a rede possui certa exatidão e precisão, mas não é fiel em sua totalidade.

Para testar (figura 06) a operação da RNA é necessário separar um pacote de dados diferentes dos utilizados para o aprendizado, lembrando que espera-se que estes tenham mais desvios que a resposta obtida durante a primeira etapa.

Figura 06 – Teste da RNA



Fonte: O autor(2018)

Visualmente é notável que durante o teste os desvios são maiores em relação a resposta real e a resposta gerada pela RNA. O cálculo médio do erro quadrático foi de 0,0394 para a fase de treinamento, sendo para o teste 0,0690.

4.2.1. Análise de Sensibilidade

Analisando a sensibilidade da rede, é possível observar o que acontece com o erro quadrático médio quando se adiciona ruído ao processo (excitação com a perturbação). Com a tabela 01 abaixo avaliou-se a sensibilidade da RNA durante o treino, podendo se observar o que ocorre quando se dá entrada para o mínimo possível, médio ou máximo valor de variável.

Esta análise é fundamental para avaliação do impacto das variáveis no contexto da rede construída, podendo expressar o quanto influente é cada variável. Com isto é possível reduzir as variáveis de entrada envolvidas.

Esta é uma estratégia para determinar os pesos da rede. É uma variante das estratégias para minimização do índice de erro no treinamento da RNA.

Tabela 01 – Análise de sensibilidade da resposta de treinamento da RNA

Noise	Couch	Gramatura	Umidade	Cs% Inbox	Retenção
0%	0.0394366280	0.0394366280	0.0394366280	0.0394366280	0.0394366280
2%	0.0395627067	0.0400098854	0.0397556599	0.0420750973	0.0398503257
5%	0.0402023115	0.0428134995	0.0413265377	0.0526301313	0.0419045207
10%	0.0417429867	0.0490464480	0.0447124206	0.0692152774	0.0464882974
always set to minimum	0.0688478283	0.0814468684	0.0779941941	0.0530266791	0.0844910996
always set to mean	0.0541890910	0.0753304456	0.0425975487	0.1641424622	0.0510666794
always set to maximum	0.0500157969	0.1470595245	0.0920694375	0.1780132363	0.0932461361
Noise	Refinador 1	Refinador 2	Refinador 3	Amido	Sulfato
0%	0.0394366280	0.0394366280	0.0394366280	0.0394366280	0.0394366280
2%	0.0395347415	0.0397079419	0.0397189618	0.0395794277	0.0399456263
5%	0.0400417979	0.0410941120	0.0411403951	0.0403106790	0.0423653436
10%	0.0413312536	0.0445110546	0.0444932429	0.0421226619	0.0466554617
always set to minimum	0.0718925779	0.0997003766	0.0753671202	0.0885238886	0.0739719276
always set to mean	0.0539237114	0.0702783602	0.0506671528	0.0502957004	0.0514810865
always set to maximum	0.0468635503	0.0617775793	0.0722666760	0.0634178047	0.0868896083

Fonte: O autor(2018)

Para os dados de teste podemos observar que o mesmo conceito do treinamento se aplica, o erro quadrático diminui quando definimos o valor da entrada sempre para sua média, ou sempre para seu valor máximo. Isso pode indicar que essa entrada não é necessariamente importante para construção da rede neural.

Na fase de teste (tabela 02) da rede neural, foi observado pela sensibilidade dos diversos testes realizados que as variáveis 2th input (gramatura), 4th input (consistência na caixa de entrada) e 10th input (sulfato de alumínio) não se mostram significativas para construção desta rede neural.

Tabela 02 – Análise de sensibilidade da resposta de teste da RNA

Noise	Refinador 1	Refinador 2	Refinador 3	Amido	Sulfato
0%	0.0690348328	0.0690348328	0.0690348328	0.0690348328	0.0690348328
2%	0.0690635586	0.0691035879	0.0690269350	0.0690685425	0.0690591265
5%	0.0692119302	0.0694617653	0.0689755189	0.0692433587	0.0691440748
10%	0.0695912246	0.0703970866	0.0688271783	0.0696927406	0.0694704612
always set to minimum	0.1063410114	0.1224602984	0.0860026759	0.0849280442	0.0699504310
always set to mean	0.0719341062	0.0719081805	0.0740186720	0.0626237493	0.0751214719
always set to maximum	0.0756934617	0.0809048016	0.0712018307	0.0832475394	0.0976744553
Noise	Couch	Gramatura	Umidade	Cs% Inbox	Retenção
0%	0.0690348328	0.0690348328	0.0690348328	0.0690348328	0.0690348328
2%	0.0690513419	0.0691806725	0.0690903422	0.0692889176	0.0689844973
5%	0.0691310024	0.0699365346	0.0693605807	0.0706718201	0.0687277500
10%	0.0693205239	0.0718837596	0.0700802187	0.0747981579	0.0682285349
always set to minimum	0.1068333402	0.1433440928	0.0868800294	0.0720814791	0.0953984082
always set to mean	0.0909497392	0.0929093124	0.0703852256	0.1523067594	0.0664536299
always set to maximum	0.0704200905	0.1232492901	0.1033446224	0.1854701262	0.0852978043

Fonte: O autor(2018)

Avaliando estas variáveis a fim de conhecer seu peso na RNA calculou-se:

- Gramatura - média 90, variância 0.1;
- Consistência inbox - média 0.94, variância 0,065;
- Sulfato Alumínio - média 16.3, variância 8,5.

Apenas o sulfato de alumínio se moveu significativamente para poder ser excluído neste contexto. Tanto a gramatura quanto a consistência na caixa de entrada não excitaram suficientemente a rede para serem percebidos.

5. CONCLUSÃO

Com a possibilidade de se prever o resultado do teste de estouro através de parâmetros que influem nele e com a rede neural apresentada, pode-se futuramente se implantar o algoritmo C no sistema de controle da máquina de papel. Isto possibilitaria uma ação imediata da operação em corrigir os parâmetros do teste, tendo uma perda muito pequena na metragem linear que esteja fora da idealidade, sem ter que esperar o resultado laboratorial para tomada de correção e eliminando a desclassificação de um ou mais rolos jumbos de papel. Para implantação é necessário realizar mais testes e treinamento com a rede neural gerada, a fim de refina-la ainda mais, no entanto os resultados apresentados atualmente neste trabalho são razoáveis e metodicamente operam de forma estável e aceitável ao propósito do estudo.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Deus acima de tudo. Ao Dr. Osvaldo Vieira pela orientação e grande aprendizado no decorrer da nossa graduação, ao Dr. Ivo Neitzel pelo seu tempo e paciência em nos co-orientar na construção da rede neural que é o centro deste trabalho, e aos operadores da máquina estudada que nos transmitiram de forma fundamental seu conhecimento do processo.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. O. **Tecnologia da fabricação de papel**. 2. ed. Vol. II.1988

ANDRIONI, J. L. **Fabricação de papel: Preparo de massa**. 2. ed. Vol. I. SENAI-SP editora, 2006. 349 p.

ASSIS, P. **O que são redes neurais**. Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/programacao/27540-que-sao-redes-neurais-.htm>>. Acesso em: 20/05/2018.

BELOIT. **Catálogo da beloit**, 1993

COSTA, H. R. N. **Aplicação de técnicas inteligência artificial em processos de fabricação de vidro**. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3139/tde-09032007-171929/publico/teserevisada.pdf>>. Acesso em:20/05/2018.

DONG. L; JIXIAN. Q. **Modelação dinâmica de refinador cônico para refinação em alta consistência.** O Papel. 2008. p. 58.

FRANCO, A. G. **Estudo do papelão ondulado de parede dupla, como material alternativo de mobiliário com design ecológico.** Dissertação (Apresentada ao Programa de Pós-graduação em Design) Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG, 2015. Disponível em: < <http://anapaulanasta.com/wp-content/uploads/2016/06/Disserta%C3%A7%C3%A3o-Annibal-Franco.pdf>>. Acesso em: 22/05/2018.

GHOSH. A. K. **Fundamentals of paper drying - theory and application from industrial perspective.** Austrália, 2011.

INSTITUTO DE EMBALAGENS. **Embalagens: design, materiais, processos e máquinas.** São Paulo: Editora Future Pack, 2009. 131 p.

KLOCK, U. **Polpa e Papel.** Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR, 2013. Disponível em: <<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasklock/polpaepapel/manualpolpa2013.pdf>>. Acesso em: 23/05/2018.

LUNDIN, *et al.* **Análise energética em refinação de baixa consistência de madeira de coníferas.** O Papel, 2009. p.41 e 42.

MANGIN, A.; KAEFER, L. F.; AUGUSTO, A. **Ação de diferentes tipos de discos de refinação de características das fibras químicas.** 2 f. Sessão técnica papel ABTCP, 2009.

PEPE L. **Introdução à fabricação de papel.** Associação brasileira de normas técnicas. 2000. p. 16, 29, 37-41.

PULKKINEN. F; JUHAN.I L. **O efeito da refinação nas distribuições da dimensão transversal de polpas de espécies de eucalipto.** O Papel, 2007. p.58-71.

PROLUULX. R. **On-line drainage rate control in prove refiner operations.** ABTCP-TAPPI, 2000.

SANTOS, R. L. **Refinação de Polpa Celulósica em Média Consistência.** FATEB, 2009. p. 17-20.

SENAI. **Fabricação de Papel,** SENAI DR, 2006. p.14, 16 e 24.

SMOOK, G.A. **Manual para Técnicos de Pulpa y Papel.** 1990.p. 1, 37, 183 e 184

YASUMURA, ALMEIDA E PARK. **Ações de refino em moinho PFI e em refinador industrial de disco.** O Papel, 2008. p. 63-64.

ZANATA, D. R. P. **Desenvolvimento de sensor virtual empregando redes neurais para a medição da composição em uma coluna de destilação.**

EPIC 2018 - V Encontro de Pesquisa e IX Encontro de Iniciação Científica da FATEB – Telêmaco Borba - PR, 25 e 26 de outubro de 2018

Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3139/tde-21022006-163655/pt-br.php>>. São Paulo, 2005. 220p. Acesso em: 29/05/2018.

UTILIZAÇÃO DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS PARA MODELAGEM E OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO KRAFT

Otávio Farias¹ e Rubia Maria Betim dos Santos²



RESUMO

Durante o cozimento, existem variáveis que devem ser consideradas, como o tempo de cozimento; temperatura de cozimento; sulfidez do licor; relação dos produtos químicos com a madeira e a concentração do reagente de cozimento no licor, que irão influenciar na qualidade final da polpa. Há também determinadas variáveis de controle do cozimento, como Fator H, que relaciona a temperatura com o tempo de cozimento, e o n° Kappa que nos dá uma estimativa da quantidade de lignina residual presente na polpa de celulose. O processo de cozimento é complexo com longo tempo de retenção, envolvendo reações químicas e fenômenos de transferência de momento, energia e massa. Algumas análises off-line levam tempo para serem realizadas, e resultado destas podem levar a uma alteração necessária nas variáveis de controle. O projeto tem o foco de estudar a utilização de redes neurais artificiais para a predição do n° Kappa como uma forma de otimizar o processo kraft, tendo como variáveis de entrada a temperatura de cozimento, o álcali efetivo (%), o índice de sulfidez (%) e o Fator H. A rede neural será construída utilizando o Software Multiple Back-Propagation (MBP).

Palavras-chave: RNA; Processo Kraft; N° Kappa.

ABSTRACT

During the cooking process, they exist variables that they should be considered, as the time of cooking; cooking temperature; sulfidez of the liqueur; relationship of the chemical products with the wood and the concentration of the cooking reagent in the liqueur, that they will influence in the final quality of the pulp. Exist also been determining variables of control of the cooking, as Fator H, that relates the temperature with the time of cooking, and the n° Kappa that gives us an estimate of the amount of present residual lignin in the cellulose pulp. The cooking process is complex with long time of retention, involving chemical reactions and phenomena of transfer of moment, energy and mass. Some off-line analyses take time for they be accomplished, and result of these can take to a necessary alteration in the control variables. The project has the focus of studying the use of nets artificial neurais for the prediction of the n° Kappa as a form of optimizing the process kraft, tends as entrance variables the cooking temperature, the effective (%) alkali, the sulfidez (%) index and the Fator H. The net neural will be built using the Software Multiple Back-Propagation (MBP).

Key-words: ANN; Kraft process; N° Kappa.

1. INTRODUÇÃO

O processo Kraft é um processo no qual os reagentes utilizados são o

¹ Acadêmico do curso de Engenharia Química da FATEB – e-mail: <farias_otavio@hotmail.com>.

² Acadêmico do curso de Engenharia Química da FATEB – e-mail: <rubia.betim@hotmail.com>.

hidróxido de sódio (NaOH) e o sulfeto de sódio (Na₂S) que combinados geram o licor branco. Neste processo a matéria-prima e o licor branco são destinados ao digestor (vaso pressurizado) com a finalidade de proporcionar a deslignificação e a remoção de impurezas presentes nos cavacos para a produção de polpa celulósica. Ao final do cozimento sempre há um residual deste licor, conhecido como o licor negro, que contém os residuais dos reagentes químicos utilizados no início do processo de polpação, combinados com a lignina removida, devido á isto, está se mantêm solubilizada para evitar sua precipitação sobre a fibra (SANTOS et.al, 2001).

O licor branco é penetrado nos cavacos pelos espaços ocos e pela difusão dos íons na água presente nas fibras. Essa primeira etapa de penetração, enquanto é feito o aquecimento inicial, acontece a retirada do ar desses espaços vazios do cavaco, o que leva ao consumo muito rápido do álcali, pois é consumido rapidamente ao reagir com carboidratos. Devido a isso, é necessário adicionar maior volume de reagentes para fazer a deslignificação. A quantidade de álcali ativo necessário para se atingir o ponto de desfibramento depende da espécie da madeira, dimensões dos cavacos, tempo e temperatura do cozimento e da sulfidez. A concentração de álcali introduzida deve manter em solução os compostos dissolvidos da madeira, pois, em uma queda de pH, fragmentos de lignina e hemicelulose poderão ser reprecipitados sobre as fibras, elevando o número Kappa, exigindo maiores quantidades de químicos em estágios de branqueamento, por exemplo (GONTARSKI, 2000).

Dessa forma, o número Kappa é o índice principal para o controle e acompanhamento do cozimento e é determinante para as etapas subsequentes do processo, produzindo impactos importantes para a produção, custos, meio ambiente e qualidade da celulose. É determinado a partir de amostras coletadas na descarga do digestor, sendo que as principais variáveis manipuladas no processo estão localizadas no topo do mesmo, como nível, temperatura e carga alcalina. Desta forma, existe uma defasagem do tempo de retenção do digestor (usualmente superior a quatro horas) para a variável de controle em relação à variável manipulada (CORREIA, 2016).

Portanto, como a utilização de redes neurais artificiais no processo kraft pode ser capaz de diminuir esse impacto a fim de otimizar o processo de cozimento?

As redes neurais vêm sendo amplamente utilizada em modelagem de processos, pois trabalha como uma modelagem empírica para adaptação de curvas, e disponibiliza para o sistema uma capacidade maior de descrever as não linearidades do processo e de filtração de dados. Tem como vantagem poder trabalhar com múltiplos inputs e múltiplos outputs, reconhecendo padrões melhor que outros métodos. Também possui a capacidade de ser retreinada se o processo for alterado. Dentro da engenharia química é popularmente usada em controle de diversos processos, podendo diagnosticar falhas e, também, prever processos. Sendo assim, muito aplicada para fazer previsões, simulações e otimização de processos (AGUIAR, 2000).

Para a otimização do processo Kraft, a rede neural pode ser capaz de calcular o melhor ajuste de inputs (variáveis de entrada) para a obtenção do output desejado (objetivo de saída) dentro de um processo determinado, como no cozimento, onde tem-se determinadas variáveis que podem ser ajustadas, como quando se deseja um n° Kappa específico.

2. METODOLOGIA

Após o embasamento teórico através de pesquisas bibliográficas, como

revistas, teses e estudos sobre a aplicação das redes neurais artificiais no processo kraft para otimizá-lo, foi escolhido o Software Multiple Back-Propagation (MBP) para a programação da rede neural tendo como variáveis de entrada a temperatura de cozimento, o álcali efetivo (%), o índice de sulfidez (%) e o Fator H.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1 Processo Kraft

A polpação sulfato ou processo Kraft foi elaborado em 1879, na Alemanha, pelo pesquisador Dahl, onde o processo de polpação dos cavacos era feito através de soda e sulfeto de sódio (ASSUMPÇÃO et al., 1988 apud RIBEIRO, 2007)

O processo de polpação mais utilizado atualmente vem sendo o processo Kraft, que simplificada utiliza a madeira em forma de cavacos, que junto com o hidróxido de soda (NaOH) e sulfeto de sódio (Na₂S), produziram como resultado a dissolução da lignina e a liberação das fibras. Essas fibras liberadas constituem a “celulose” marrom ou massa marrom (STEIN, 2010).

Neste processo, os cavacos são inseridos em um digestor juntamente com o licor branco. Quando o digestor estiver totalmente carregado com licor e cavacos, começa o cozimento até chegar a aproximadamente 170°C (CARDOSO, 2009).

O processo Kraft tem como vantagem uma perda mínima de químicos e grande eficiência energética, ocorrendo que 96 a 97% dos reagentes químicos usados na polpação são recuperados (ALVES, 2015).

Nesse processo as variáveis são tais como temperatura, carga de químicos, pressão, controle de alívio de gases não condensáveis; controle de consumo de vapor (CARDOSO, 2009).

Ainda segundo CARDOSO (2009), a deslignificação acontece em 3 fases, sendo elas holding time (etapa inicial), etapa principal e etapa final ou residual.

- Holding time (etapa inicial): Essa etapa é muito intensa e rápida, onde consumido 60% do álcali e a dissolução de lignina é de no máximo 25%. Nessa etapa 80% da madeira continua crua, devido a temperatura ser inferior a 140°C. O licor penetra-se nos cavacos e através da destilação desprendem-se os compostos voláteis.
- Etapa principal: Nessa fase ocorrem 60% da deslignificação e a temperatura pode variar de 140~170°C. A concentração do álcali e da sulfidez influencia bastante. A pressão máxima do cozimento é de 7 a 10,5 kgf/cm² e é alcançada entre 1 a 4 horas, onde os gases voláteis já se desprenderam e começa a diminuir a deslignificação.
- Etapa final: Essa etapa é muito lenta e pouco seletiva, ocorrendo a diminuição do conteúdo de carboidratos e redução da viscosidade, ocorre 10 a 13% da dissolução de lignina original. Nessa etapa é realizada a descarga dos cavacos em um BlowTank (tanque de descarga).

Após o cozimento, a polpa é lavada e destinada para as etapas subsequentes e o licor negro é mandado para a recuperação de produtos químicos, onde é tratado e se regenera, voltando para o processo (STEIN, 2010).

3.1.1 Variáveis Relacionadas ao Cozimento

Segundo Cardoso (2009), existem dois tipos de fatores que interferem no produto final, sendo eles relacionados ao cozimento e a matéria prima. Sendo as variáveis relacionadas ao cozimento:

- Carga de álcali: É a quantidade de NaOH e Na₂S necessária ao volume de cavacos que ingressará no licor. Cada empresa usa uma quantidade específica de AA e AE (CARDOSO, 2009).
- Concentração: as concentrações não podem oscilar e sim manter-se constante para evitar o prolongamento do cozimento. É necessária uma concentração bem pequena para que os compostos se dissolvam na solução (CARDOSO, 2009).
- Sulfidez: usa-se sulfeto de sódio para acelerar o grau de deslignificação obtendo-se polpas resistentes num mesmo grau de deslignificação. Em geral, usa-se 30% de sulfeto em coníferas e 20% em folhosas (CARDOSO, 2009).
- Tempo e temperatura: o cozimento fica na faixa de 165 a 170 °C, devido a isso a degradação é mínima pois o tempo de cozimento não é muito longo. Quanto mais alta estiver a temperatura menor será o tempo de cozimento (CARDOSO, 2009).
- Fator H: é a variável relacionada ao tempo e temperatura durante o processo. Para um mesmo Fator H se durante o processo o tempo e a temperatura forem diferentes e as outras variáveis se manterem constante, o rendimento será semelhante (CARDOSO, 2009).
- Uso de aditivos na polpação: o processo Kraft ao ser comparado com o processo sulfito apresenta uma grande desvantagem na taxa de rendimento devido aos carboidratos degradados pela reação do álcali (CARDOSO, 2009).
- A qualidade da polpa produzida é geralmente verificada ao final do processo de cozimento da madeira. Tradicionalmente se realiza esta medida através da obtenção do n° Kappa (RIBEIRO et al., 2007).

D'Almeida (1988) afirma que a lignina presente em pasta não branqueada é prontamente oxidada por permanganato de potássio, enquanto a celulose é muito pouco atacada. Frente a isso, pode-se definir o n° Kappa como sendo o número em ml de solução de permanganato de potássio 0,1N consumido por um grama de pasta absolutamente seca, sob condições específicas.

O n° Kappa pode ser determinado pela Norma TAPPI (Technical Association for the Pulp, Paper, and converting Industry) T236 cm-85. O n° Kappa corrigido foi obtido após a quantificação dos ácidos hexanurônicos e utilizando-se do fator de conversão proposto por Li e Gellertedt (1997), no qual 11,9 mmol de Ahexs/kg de polpa correspondem a uma unidade de Kappa. Já o procedimento ISO 302:1981, define o n° Kappa como o número de ml de 0,02 mol/l de solução de permanganato de potássio, consumido sobre condições especificadas em 1 g de polpa (calculada em base seca). Os resultados são corrigidos para um valor correspondente obtido, quando 50% (massa/massa) de permanganato de potássio são consumidos no teste. (RIBEIRO et al., 2007).

O Fator H é um importante parâmetro usado para controle do processo de cozimento, que controla o tempo e a temperatura em uma única variável (RAY, 2011)

Foi na tentativa de relacionar essas duas variáveis em uma só que surgiu o Fator H. Segundo Bugajer et al. (1979) apud Júnior (1997), é uma variável que relaciona o tempo e a temperatura de cozimento, foi Vroom em 1957 que propôs relacionar a temperatura e o tempo de cozimento em somente um índice, e desde então este fator tem sido muito utilizado para controlar o cozimento e ter uma deslignificação mais eficiente e até hoje tem sido utilizado pelas indústrias de produção de celulose.

O seu valor é representado pela área sob a curva obtida pela velocidade relativa da reação da deslignificação em relação ao tempo (RAY, 2011).

De acordo com Leon (1977) e Pacini (1979) citados por Bugajer et al. (1979) apud Júnior (1997) o limite de deslignificação para o *Eucalyptus Saligna* com seis anos de idade deve ser usado um Fator H em aproximadamente de 700. Para Marques (1979) apud Júnior (1997) para perfeitas aplicações são necessárias condições pré-fixadas de madeira e de licor.

Este é um parâmetro de funcionamento de enorme importância no controle do processo moderno nas fábricas de celulose, por permitir que possam ser feitas possíveis alterações no ciclo de temperaturas no mesmo instante o tempo grau constante na deslignificação, para o cálculo de Fator H a energia é uma variável de importante consideração. Este fator geralmente é calculado por um procedimento numérico, que traça uma taxa relativamente constante em função do tempo de cozimento e avaliando a área sob a curva (RAY, 2011)

Cozimentos com diferenciadas combinações de tempo e temperatura para um só Fator H e com outras condições constantes devem produzir celulose com rendimento e teor de lignina parecida. O Fator H está em volta de 700 para as folhosas e de 1500 a 2000 para as coníferas (CARDOSO, 2009).

3.2 Redes Neurais Artificiais

Redes neurais artificiais são sistemas de processamento de informações que mostra diversas peculiaridades em comum com as redes neurais biológicas que formam o sistema nervoso dos seres vivos (BENITE, 2003 apud POLOWSKI, 2009). São formadas pela interconexão de elementos simples de processamento, chamados neurônios artificiais, eles são chamados assim porque foram produzidos a partir de um modelo matemático de um neurônio natural (POLOWSKI, 2009).

A incitação primordial que levou ao desenvolvimento de modelos matemáticos de redes neurais, designadas redes neurais artificiais, foi um trabalho para entender mais especificadamente o funcionamento do cérebro humano (SILVA, 1998 apud POLOWSKI, 2009). A finalidade era desenvolver mecanismos que agissem de modo similar, ou seja, que tomassem decisões, processassem informações, que também entendessem, lembrassem e otimizassem da mesma maneira e, se possível até de modo mais eficaz que o cérebro humano. Sobretudo, estas características são desenvolvidas por meio do estudo da célula imprescindível do cérebro, o neurônio, e descritas através de algoritmos que tentam simular o funcionamento de um conjunto de neurônios (HAYKIN, 1994 apud POLOWSKI, 2009).

Nas redes neurais artificiais, o objetivo é criar o processamento de informações possuindo como início a organização de neurônios do cérebro. Como o cérebro humano é capacitado para aprender e usar decisões fundadas na aprendizagem, as redes neurais artificiais precisam efetuar o mesmo. Desse modo uma rede neural pode ser explicada como um esquema de processamento adequado para armazenar conhecimento apoiado em aprendizagem (experiência) e oferecer este conhecimento para a aplicação em questão (POLOWSKI, 2009).

Um dos maiores inconvenientes achados na utilização das redes neurais é a escolha da melhor arquitetura, já que esse procedimento é experimental e precisa de um grande tempo de execução. Na prática, o procedimento tem que ser aplicado com a intenção de testar diversos métodos de aprendizado e as inúmeras configurações que uma rede consiga ter para a solução de um problema em específico (MIRANDA et al., 2009 apud FLECK et al., 2016).

A aprendizagem de uma rede neural é um procedimento no qual os parâmetros livres são acertados por meio de uma técnica de estimulação pelo ambiente em que a rede está estabelecida. Dessa forma, o tipo de aprendizagem é definido baseado no modo em que a modificação dos parâmetros ocorre. Resumidamente, considera-se que, a rede neural é incentivada por um ambiente, ela admite modificações em seus parâmetros livres como resultado dessa estimulação, a rede neural também retribui de um modo novo ao ambiente, por causa das modificações que ocorreram na sua estrutura interna. O aprendizado de uma RNA é executado através de procedimentos iterativos de ajustes aplicados aos pesos sinápticos, o chamado treinamento (HAYKIN, 2001 apud FLECK et al., 2016).

A primeira e maior fase da operação de uma rede neural é o treinamento, na qual as conexões e pesos entre os neurônios precisam ser regulados. Efetuar o treinamento é regular os seus pesos até que a rede seja qualificada a representar de modo correto as relações causa-efeito aguardadas. Esta fase é essencial, visto que a capacidade da rede para prever relações causa-efeito necessita de conexões apropriadas. Somente posteriormente o treinamento, a rede encontrar-se-á pronta para ser usada. Nesta ocasião, ao receber os inputs, ela retomará os outputs correspondentes. Esta é a etapa de generalização (AGUIAR, 2000).

3.2.1 Software Multiple Back-Propagation (Mbp)

O software Multiple Back-Propagation (MBP), é um software livre e gratuito para treinamento de redes neurais com os algoritmos Back-Propagation e Multiple Back-Propagation. O MBP é um software de fácil aplicação, altamente configurável, treinamento rápido, fornece gráficos RMS durante o treinamento, fornece saída contra os gráficos de saída desejados durante o treinamento para os conjuntos de treinamento e teste, gera código C para as redes treinadas, permite também análise de sensibilidade de entrada.

3.3 Utilização do Mbp para a Predição do N° Kappa

O conjunto de dados utilizados foram feitos baseados na revisão bibliográfica e outros trabalhos experimentais fornecidos pelo senai. eles foram divididos em dados de treino e dados de teste, como mostra a figura 1 e 2.

Estes conjuntos de dados contendo as variáveis de temperatura de cozimento, o álcali efetivo (%), índice de sulfidez (%) e o Fator H, juntamente com a variável de controle, n° Kappa, foram compactadas em linhas e colunas no formato de bloco de notas para serem inseridas no MBP.

Após adicionado os dados de treino e de teste ao programa, definiu-se a tipologia da rede neural, sendo 4 inputs, 9 neurônios intermediários e 1 output. O número de neurônios foi determinado a partir de testes variando de 1 a 10 neurônios intermediários, com 9 resultou em um menor erro quadrático médio e em menos tempo, como mostra a Figura 3 e 4.

Figura 1 – Dados de treino

TREINO				
T1 (°C)	AE1 (%)	IS1 (%)	FatorH1	Kappa1
155	13	30	414,03	16,30
160	14	30	978,15	12,70
150	16	30	398,24	16,60
155	15	30	414,03	13,60
165	12	31,4	159,00	97,82
165	12	31,4	174,90	99,99
165	12	31,4	174,90	96,75
165	12	31,4	174,90	98,53
165	12	29,31	254,40	96,34
165	12	29,31	267,12	96,89
165	12	29,31	265,00	99,99
170	12	29,31	262,88	99,88
170	12	29,31	271,36	97,17
170	12	29,31	267,12	97,71
170	12	29,31	225,78	99,89
170	12	29,31	226,84	99,55
170	12	28,61	250,16	98,35
165	12	28,61	248,04	100,14
165	12	28,61	249,10	100,31
165	12	28,61	252,28	100,63
165	12	28,61	261,82	99,37
165	12	28,61	268,18	100,71
165	12	28,61	272,42	96,43
170	12	28,61	273,48	97,16
170	12	28,82	248,04	96,80
170	12	28,82	243,80	99,02
170	12	28,82	258,11	96,30

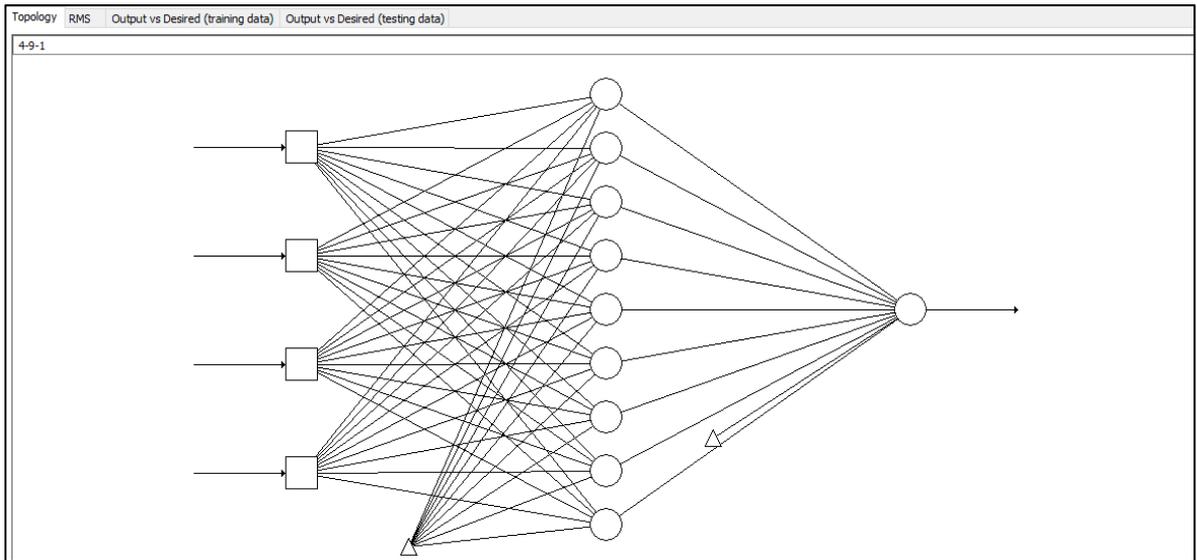
Fonte: Autores (2018)

Figura 2 – Dados de teste

TESTE				
T (°C)	AE (%)	IS (%)	FatorH	Kappa
145	13	30	134,20	48,00
145	13	30	169,15	36,35
145	13	30	204,07	32,30
145	15	30	134,20	30,40
145	15	30	169,15	28,30
145	15	30	204,07	20,00
145	17	30	134,20	30,60
145	17	30	169,15	22,00
145	17	30	204,07	17,90
155	13	30	328,06	18,60
155	13	30	414,03	16,80
155	13	30	500,02	14,00
155	15	30	328,06	16,20
155	15	30	414,03	14,60
155	15	30	500,02	12,40
155	17	30	328,06	13,80
155	17	30	414,03	12,40
155	17	30	500,02	10,60
165	13	30	777,62	13,30
165	13	30	975,73	12,40
165	13	30	1178,83	12,70
165	15	30	777,62	11,70
165	15	30	975,73	11,00
165	15	30	1178,83	10,50
165	17	30	777,62	9,80
165	17	30	975,73	9,30
165	17	30	1178,83	8,90

Fonte: Autores (2018)

Figura 3 – Tipologia da rede neural



Fonte: Autores (2018)

Figura 4 – Erro quadrático médio

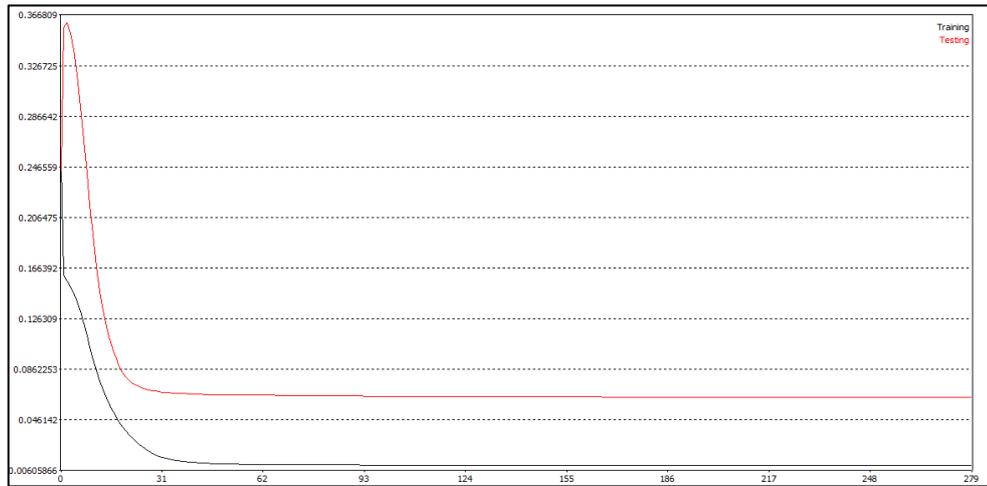
Root Mean Square Error	
Main Network	
Training	0.0099987611
Testing	0.0638990340

Fonte: Autores (2018)

O erro quadrático médio é mostrado graficamente na Figura 5. Assim como o gráfico que mostra o n° Kappa desejado, ou seja, o padrão fornecido pelos dados de treino, versus o alcançado pela rede é mostrado na Figura 6, também o n° Kappa desejado, fornecido pelos dados de teste, versus o alcançado pela rede é mostrado na Figura 7.

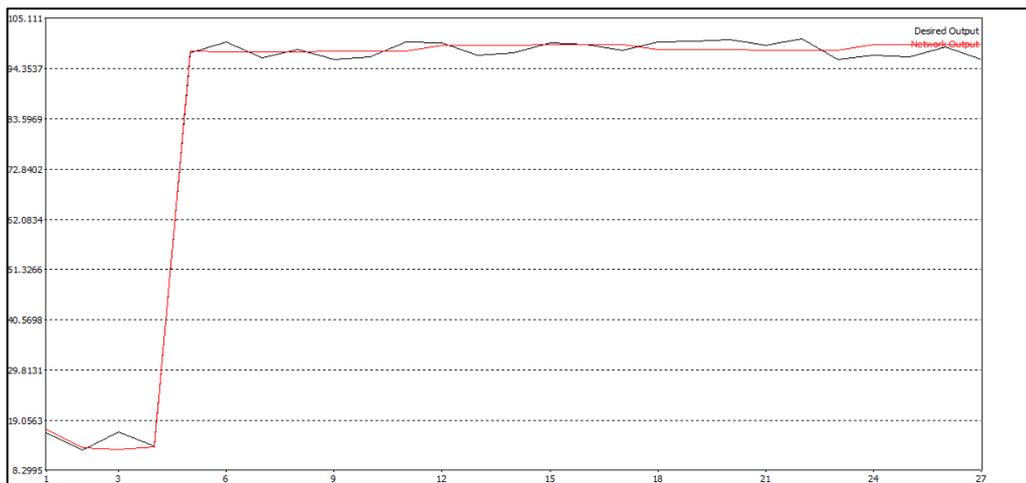
Com isso, percebeu-se que a rede ainda não conseguiu compreender e prever o n° Kappa com precisão, exceção de poucos pontos onde as curvas se encontram, sendo assim, necessário fornecer para ela mais variáveis e mais dados que irão mostrar melhor como se comporta o n° Kappa e a partir disso ela irá conseguir fazer uma predição mais precisa.

Figura 5 – Gráfico RMS



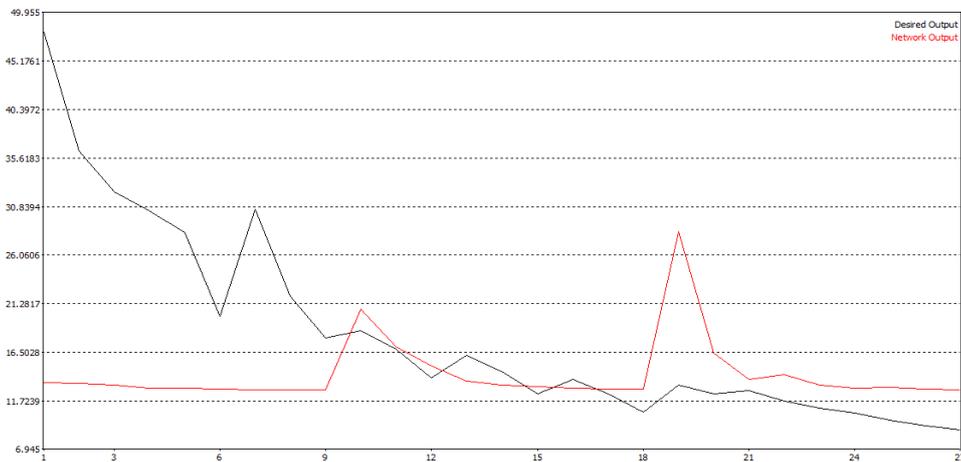
Fonte: Autores (2018)

Figura 6 - Gráfico Output vs Desired (training data)



Fonte: Autores (2018)

Figura 7 - Gráfico Output vs Desired (training data).



Fonte: Autores (2018)

4. CONCLUSÃO

As redes neurais vêm sendo amplamente utilizadas em diversos processos de otimização, para a modelagem do processo Kraft a rede neural tem que ser capaz de calcular o melhor ajuste de inputs e outputs. A variável utilizada para a otimização foi o número Kappa e com a predição desta variável pode-se otimizar o processo Kraft.

As redes neurais devem ser treinadas e testadas para prever e otimizar o processo, foram adicionados os dados de treino e de teste ao programa, definidos a tipologia da rede neural e o número de neurônios. Após todos os treinos e testes pode-se concluir que a rede ainda não conseguiu compreender e prever o número Kappa com precisão, ouve-se algumas exceções de alguns pontos observados no programa, para um melhor resultado será necessário fornecer para ela uma maior quantidade de variáveis e dados que mostrariam um melhor comportamento do número Kappa e com isso a predição necessária para a otimização do processo Kraft desejado.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus que nos concedeu forças para realizar esse trabalho, a FATEB por nos oferecer essa oportunidade, ao SENAI de Telêmaco Borba pelo suporte e em especial ao nosso orientador pelo tempo dedicado a nós.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, H. C. I. L. **Modelagem De Digestores Kraft Contínuo: Redes neurais e Modelo Híbrido**. 2000. 175 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Faculdade De Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2000.

ALVES, É. D. et al. Estudo do processo de obtenção celulose Kraft com ênfase no forno de cal. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, RS, v. 16, n. 26, p. 101-220, 2015.
CARDOSO, G. S. et AL, **Fabricação de celulose**, Volume 1. SENAI. Curitiba – PR: 2006, páginas 13-120.

CARDOSO, G. S. **Fabricação de celulose**. 2º Edição. Curitiba, SENAI 2009, Volume I.

CORREIA, F. M. **Métodos Estatísticos e Redes Neurais Aplicados a Modelos Preditivos em Digestor Contínuo de Celulose Kraft de Eucalipto**. 2016. 183 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Química) - Faculdade De Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2016.

D'ALMEIDA, M. L. O. **Celulose e papel**. 2º edição. São Paulo, 1988, Vol. I.

FLECK, L. et al. Redes Neurais Artificiais: Princípios Básicos. **Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia**, Medianeira, PR, v. 1, n. 13, p. 47-57, 2016.

GONTARSKI, C. A. U. **Avaliação da Utilização de Redes Neuronais Aplicadas a Processos Químicos**. 2000. 181 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Química) - Faculdade De Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2000.

JÚNIOR, F. G. S. **Polpação Kraft do eucalipto com adição de Antraquinona, Polissulfetos e Surfactante**. 1997. 185 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Química) - Faculdade De Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 1997.

POLOWSKI, N. V. **Modelagem e Otimização de digestores Kraft Descontínuos utilizando Redes Neurais e modelo Híbrido-integração de processos em tempo real**. 2009. 236 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Química) - Faculdade De Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2009.

RAY, A. K. **A fresh look at the h factor data for indian non Wood agri residues**. Disponível em: <http://www3.aiche.org/proceedings/content/Annual-2013/extended-abstracts/P332124.pdf>. Acesso em: 16 de abril de 2018.

RIBEIRO, R. N. **Utilização de Redes Neurais Artificiais e Tecnologia Ft-Nir para Predição do Número Kappa em um Processo Kraft de Cozimento de Madeira em Indústria de Celulose**. 2007. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) - Centro Universitário do Leste de Minas Gerais, Coronel Fabriciano, MG, 2007.

RIBEIRO, R. N. et al. **Utilização de Redes Neurais Artificiais para Predição do Grau de Cozimento de um Digestor de Celulose**. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA SEGeT, 4., Resende, RJ, 2007.

SANTOS, C. P. *et al.* Papel: Como se fábrica? **Química Nova na Escola**, São Paulo, SP, v. 14, n. 14, p. 03-07, novembro. 2001.

STEIN, F. R. **Modelagem de Produção Industrial de Celulose Kraft com Modelos Aditivos Generalizados e Redes Neurais**. 2010. 109 f. Dissertação (*Magister Scientiae* em Tecnologia de Celulose e Papel) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

UTILIZAÇÃO DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS NA DETECÇÃO E DIAGNÓSTICO DE FALHAS EM EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS



Renon Rodrigues de Mello¹ e Ricardo da Costa Brizola²

RESUMO

Atualmente, as indústrias em um âmbito mundial, necessitam cada vez mais alcançar elevados níveis de produção para conseguir se manter de forma competitiva no mercado. Essa necessidade trouxe um grande aumento na automatização dos processos industriais, visando a redução de mão de obra e menores custos gerais, bem como uma maior eficiência, estabilidade e qualidade de seus processos e produtos industriais. A utilização de redes neurais vem aumentando consideravelmente em todo o mundo, principalmente na detecção e diagnóstico de falhas em equipamentos industriais, e até mesmo no tratamento e correção das falhas encontradas. O presente trabalho visa demonstrar os conceitos utilizados atualmente na detecção e diagnóstico de falhas de equipamentos industriais, utilizando as redes neurais artificiais.

Palavras-chave: detecção; falhas; RNA.

ABSTRACT

Nowadays, industries in a global scope, increasingly need to reach high levels of production in order to remain competitive in the market. This need has brought a great increase in the automation of industrial processes, aiming at reducing manpower and lower overall costs, as well as greater efficiency, stability and quality of its industrial processes and products. The use of neural networks has been increasing considerably throughout the world, especially in the detection and diagnosis of failures in industrial equipment, and even in the treatment and correction of the failures found. The present work aims to demonstrate the concepts currently used in the detection and diagnosis of industrial equipment failures, using artificial neural networks.

Key-words: detection; failures; RNA.

1. INTRODUÇÃO

A automação está relacionada com a substituição da mão de obra humana ou animal por uma máquina que realize função equivalente (RIBEIRO, 1999).

Nos dias atuais, o processo de globalização colocou as indústrias de praticamente todo o mundo frente à necessidade de trabalharem com altos níveis de produtividade, sendo este, fator determinante de sobrevivência de muitas delas. O conceito de se fazer mais com menos se tornou uma das pautas principais do mundo moderno. Neste contexto, a simples redução da mão-de-obra não necessariamente significa maior produtividade. Se esta não estiver aliada a melhor

¹ Acadêmico do curso de Engenharia Química da FATEB – e-mail: <renon_mello@hotmail.com>;

² Acadêmico do curso de Engenharia Química da FATEB – e-mail: <rcbrizola@outlook.com>.

qualificação profissional desta mão-de-obra e, principalmente, à maior eficiência dos processos industriais, dificilmente será possível se obter a desejada mudança de patamar da produtividade (TEIXEIRA, 2014).

A utilização de Inteligência Computacional em processos industriais no Brasil vem se expandindo ao longo dos anos. Sistemas inteligentes com base em redes neurais são amplamente utilizados atualmente para detecção e isolamento de falhas em motores de indução trifásicos. Em falhas de origem mecânica e elétrica tais como falhas de rolamentos, alinhamento do mancal, desbalanceamento, curto-circuito entre espiras, quebra de barra do rotor e abertura de enrolamento do estator são tratadas (NETO, 2006).

Desde então, a demanda cada vez mais crescente pela necessidade de maior desempenho dos processos ou de maior qualidade dos produtos, bem como a independência do funcionamento da planta industrial para com os operadores humanos, vem despertando interesse de diversos membros da comunidade científica, fazendo com que a automação e a supervisão de processos por meio de inteligência artificial, ganhasse cada vez mais espaço atualmente (REBOUÇAS, 2011).

Segundo Isermann (2006), ao longo dos anos diversos estudos foram desenvolvidos sobre a teoria de controle com realimentação. Especialmente nos sistemas de controle que incluem os observadores de estado e estimadores de parâmetros, pode-se observar uma evolução significativa. Para o autor, com a evolução da teoria de controle e de processamento de sinais, diversos processos que antes possuíam um comportamento que dificultava a elaboração de estratégias de controle, agora podem ser controlados mais facilmente.

Entretanto, quanto mais eficiente forem as estratégias de controle no nível inferior, melhor deverão ser as estratégias de supervisão do nível intermediário, uma vez que os operadores são removidos do processo. Pode-se dizer que isso ocorre porque os operadores humanos não se limitam a controlar o processo mudando suas referências nos horários previstos, eles também realizam a atividade de supervisão, especialmente quando estão em contato direto com o processo. Logo, com a evolução das técnicas de controle no nível inferior, as estratégias de supervisão também deverão ser aperfeiçoadas (ISERMANN, 2006).

No passado, o supervisionamento automático dos processos, em sua maioria, era composto por algum tipo de sistema que possuía a simples tarefa de verificar se uma determinada variável, tal como força, velocidade, pressão, nível ou temperatura, ultrapassava um certo limite ou limiar especificado para o processo. Caso isso viesse a ocorrer, um tipo de alarme disparava, notificando o operador do ocorrido, fazendo com que este agisse de maneira a corrigir o problema. Algumas vezes o problema podia ser corrigido também de maneira automática por algum subsistema de proteção. Tal procedimento, em muitos dos casos, era suficiente para evitar que houvessem falhas ou danos graves ao processo. Por outro lado, as falhas ou os erros só eram detectados após um certo intervalo de tempo, o que impossibilitava a obtenção de um diagnóstico detalhado sobre o ocorrido (ISERMANN, 2006).

Atualmente, existem diversos sistemas que fazem uso de Redes Neurais Artificiais (RNAs) para detectar e diagnosticar as falhas que venham a ocorrer em um determinado processo. O sistema deverá ser capaz de detectar a presença das falhas, gerando sinais de alarme que notifiquem o operador e que possam vir a ser pós-processados. Para que isso seja possível, o modelo de estudo de caso deve ser identificado através de redes neurais, de tal modo que a partir do valor real

mensurado e da inferência realizada pelo modelo identificado, seja gerado um resíduo que, em conjunto com outros valores, irão compor a entrada da estrutura neural de detecção e diagnóstico de falhas (REBOUÇAS, 2011).

Resumidamente, as RNAs, são estruturas paralelas, maciçamente distribuídas, constituídas por unidades simples de processamento, conhecidas como neurônios. Essas estruturas se assemelham ao cérebro humano devido a sua capacidade de “adquirir conhecimento” a partir do ambiente em que se encontram. Esse aprendizado ocorre através de um ajuste das forças de conexões, ou pesos sinápticos, que existe entre os neurônios. São essas conexões que armazenam os conhecimentos adquiridos pela rede (HAYKIN, 2000).

2. METODOLOGIA

Este trabalho é uma pesquisa sobre os tipos de diagnóstico e detecção de falhas em equipamentos industriais, com o auxílio de redes neurais artificiais, bem como os benefícios que essa tecnologia traz nas mais diversas áreas de processos industriais, sejam de forma quantitativa e/ou qualitativa, mantendo as empresas cada vez mais estáveis e competitivas no mercado global. As pesquisas foram realizadas de forma bibliográfica.

3. CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Ao longo das últimas décadas, as pesquisas na área de Redes Neurais Artificiais (RNAs) evoluíram de maneira significativa, principalmente após a década de 80, com o avanço da tecnologia e o fracasso da escola simbolista na solução de determinados tipos de problemas (BRAGA, 2007).

No setor industrial a história não foi muito diferente. As RNAs vem sendo utilizadas em diversos trabalhos, seja de maneira isolada ou em sistemas híbridos, os quais combinam outras características de sistemas inteligentes (REBOUÇAS, 2011).

Segundo Haykin (2000), as RNAs são estruturas paralelas, maciçamente distribuídas, constituídas por unidades simples de processamento conhecida como neurônios. Essas estruturas se assemelham ao cérebro humano devido a sua capacidade de “adquirir conhecimento” a partir do ambiente em que se encontra. Esse aprendizado ocorre através de um ajuste das forças de conexões, ou pesos sinápticos, que existe entre os neurônios. São essas conexões que armazenam os conhecimentos adquiridos pela rede.

Dentre as diversas aplicações das RNAs, podem ser citados exemplos para a classificação de padrões, filtragem de sinais, análise de imagens, identificação e controle de sistemas dinâmicos. De acordo com Haykin (2000), algumas das justificativas para a utilização dessas estruturas são: sua característica intrínseca de não-linearidade, sua capacidade de generalização e adaptabilidade, a tolerância a falhas e a facilidade para realizar o mapeamento de relações entrada-saída.

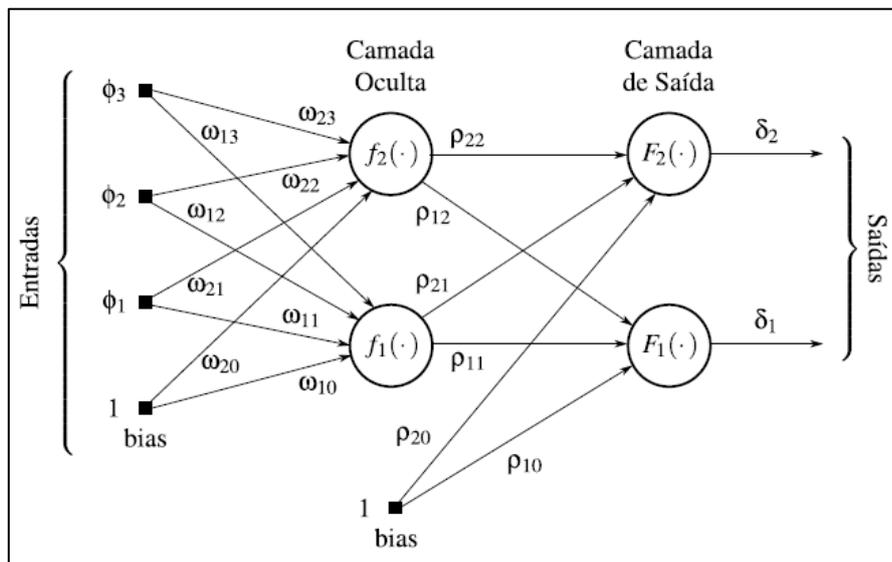
Devido à grande complexidade existente em muitos problemas físicos reais, desenvolver um modelo matemático que represente adequadamente a dinâmica do processo é uma tarefa praticamente impossível. Para Rebouças (2011), as RNAs, através de seu processo de aprendizagem e de sua capacidade de aproximação universal, conseguem representar a função correspondente à dinâmica do sistema com relativa simplicidade.

3.2. Arquitetura das Redes

As RNAs do tipo Perceptron de Múltiplas Camadas (PMC) se destacam devido a sua simplicidade e capacidade de aplicação em diversas áreas.

Segundo Haykin (2000), uma rede PMC básica possui seus neurônios dispostos em camadas, recebendo como entrada as saídas dos neurônios da camada imediatamente anterior ou, no caso da primeira camada, as entradas da rede. Por possuir essa configuração essas redes são conhecidas como redes feedforward.

Figura 1 - Diagrama Esquemático de uma Rede PMC



Fonte: Haykin (2000)

Como mostrado na figura acima, a segunda camada é conhecida como camada de saída, pois produz as saídas da rede neural. A primeira camada é conhecida como camada oculta ou intermediária por estar “escondida” entre as entradas da rede (ϕ_1 , ϕ_2 e ϕ_3) e a camada de saída.

4. DETECÇÃO E DIAGNÓSTICO DE FALHAS

Com a demanda cada vez mais crescente com relação a eficiência, a qualidade dos produtos e a integração dos processos no setor industrial, aliada aos altos custos envolvidos e as mais diversas necessidades de segurança, torna-se evidente a importância dos sistemas de supervisão e dos sistemas de Detecção e Diagnóstico de Falhas (DDF) (ISERMANN, 2006).

Devido ao nível de complexidade envolvido em um processo industrial, os sistemas de supervisão e proteção exigem as mais avançadas técnicas oferecidas pela engenharia moderna e, ainda assim, demandam um esforço contínuo por parte dos pesquisadores e engenheiros para que sejam desenvolvidas novas tecnologias que venham a suprir suas necessidades (SILVA, 2008).

4.1. Conceitos e Terminologias

Para Laprie (1992), o termo dependabilidade, que nada mais é do que a tradução literal do termo inglês dependability, está relacionado com a capacidade

de um sistema prestar um serviço que possa ser, justificadamente, confiável. O serviço prestado se refere ao comportamento do sistema percebido por seus usuários, os quais também serão sistemas (máquinas físicas ou seres humanos), que interagem com o anterior.

De acordo com Laprie (1992), dependendo das aplicações envolvidas, o termo dependabilidade pode ainda ser visto a partir de suas diferentes, mas, complementares, propriedades:

- Disponibilidade: Prontidão para o uso;
- Confiabilidade: Continuidade do serviço;
- Proteção (safety): Não ocorrência de consequências catastróficas para o meio;
- Confidencialidade: Não ocorrência da divulgação não-autorizada da informação;
- Integridade: Não ocorrência de alterações indevidas da informação;
- Manutenção: Aptidão para sofrer reparos e evolução.

A associação da integridade com a disponibilidade e a confidencialidade leva à Segurança (security).

4.2. Sistemática da Dependabilidade

O estudo sobre a prevenção de falhas envolve a seleção de metodologias de projeto e de tecnologias adequadas para a escolha e a aplicação dos componentes no sistema, ou seja, busca não introduzir ou evitar que as falhas aconteçam. A tolerância a falhas está mais relacionada com a continuidade da prestação do serviço quando uma falha vier a ocorrer. Algumas das aplicações mais conhecidas são: mascaramento de falhas, redundância de dispositivos/sistemas e a detecção/recuperação de falhas. A supressão das falhas procura minimizar as consequências relativas à presença de uma falha através de mecanismos de verificação, diagnóstico e correção. A previsão de falhas está relacionada com a estimativa que pode ser feita sobre a presença, a criação e a consequência que as falhas venham a causar no sistema. Para isso, tal técnica faz uso de critérios avaliativos, técnicas de injeção de falhas e testes de resistência (REBOUÇAS, 2011).

4.3. Avarias, Erros e Falhas

Em um processo real, todos os recursos utilizados, sejam físicos ou implementados em software, estão sujeitos a interrupções ou a comprometimentos operacionais (REBOUÇAS, 2011).

Em sistemas críticos, tais como as aeronaves ou as usinas nucleares, essas situações fazem com que pequenos “deslizes operacionais” venham a trazer grandes e indesejáveis consequências. Como exemplo dessas consequências, pode-se destacar o acidente do Airbus 320 da TAM em 2007, que não conseguiu parar ao aterrissar no aeroporto de Congonhas, São Paulo, no qual 199 pessoas vieram a falecer (12 em solo e 187 no avião) e o desastre da usina nuclear de Chernobil, que liberou cerca de 400 vezes mais contaminação do que a bomba nuclear que foi lançada em Hiroshima (REBOUÇAS, 2011).

Esses exemplos fazem com que se reflita sobre como os sistemas de controle podem evoluir para evitar que catástrofes ainda maiores venham a ocorrer. Ou seja, como as propriedades de um sistema de controle confiável poderão ser

mantidas mesmo na presença de avarias, erros e falhas no processo (REBOUÇAS, 2011).

Segundo Weber (2002), apesar do termo falha ser utilizado, em muitos dos casos, como um termo vago, abrangendo também o significado de avarias e erros, existem certas diferenças conceituais que devem ser observadas.

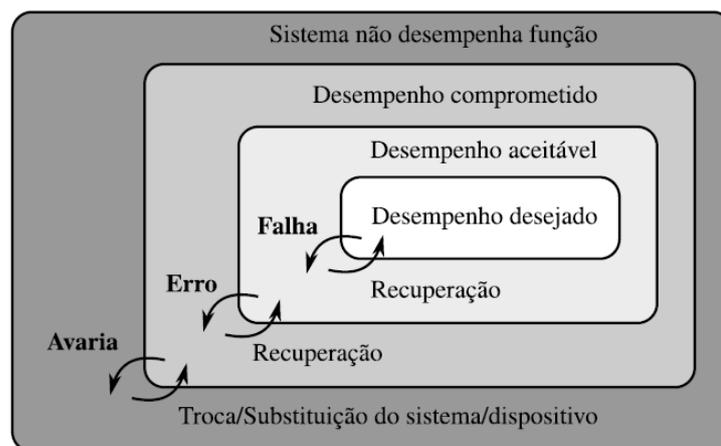
O termo avaria (failure) deve ser utilizado para indicar que houve um desvio do comportamento no sistema, o que o torna incapaz de fornecer o serviço para o qual foi designado. Um erro (error), entretanto, está relacionado com estado do sistema e pode levar a uma avaria. De maneira resumida, se há um erro no estado do sistema, então existe uma sequência de ações que podem ser executadas e que levarão as avarias, a não ser que medidas corretivas venham a ser tomadas. Por fim, mas não menos importante, o termo falha (fault) é a causa de um erro e está associado à noção de defeitos. Normalmente, diz-se que o termo falha pode ser definido como sendo um defeito que possui o potencial de gerar erros (WEBER, 2002).

Conforme dito anteriormente, alguns autores costumam traduzir os termos failure, error e fault de maneira diferente. O termo failure, por exemplo, também é traduzido como falha e o termo fault como falta. Entretanto, como é mais comum se referir a sistemas de controle tolerantes a “falhas” ao invés de sistemas de controle tolerantes a “faltas”, preferiu-se aqui traduzir o termo failure como avaria e o termo fault como falha, até mesmo porque as avarias (failures) não podem ser toleradas (REBOUÇAS, 2011).

Tendo conhecido o significado de cada um desses termos, pode-se mostrar que existe uma certa relação entre eles. Considerando que os sistemas reais são normalmente com- postos por subsistemas, é comum se observar que uma falha leva a um erro, que por sua vez pode levar a uma avaria, podendo vir a gerar novas falhas e dar início a uma reação em cadeia. Contudo, nem sempre uma falha conduz a um erro, assim como nem sempre um erro conduz a uma avaria, mas todos os erros resultam de falhas e todas as avarias resultam de erros (REBOUÇAS, 2011).

Uma outra maneira de visualizar as relações existentes entre cada um desses termos pode ser observada na figura abaixo.

Figura 2 - Mapa de Conceitos Relacionados a Erros, Avarias e Falhas



Fonte: Rebouças (2011)

Weber (2002) afirma que as falhas são inevitáveis, uma vez que os

componentes físicos do sistema envelhecem e estão sempre sujeitos as interferências externas, ambientais ou humanas. Mostra ainda que os softwares, assim como os sistemas físicos, também são vítimas de falhas, pois estão a mercê da alta complexidade dos processos e da fragilidade humana em trabalhar com grande volume de detalhes de especificação e operação.

4.4. Avarias, Erros e Falhas

De acordo com Silva (2008), as falhas em um processo industrial podem ser classificadas em relação a vários aspectos. Em se tratando da classificação quanto ao tempo, as falhas podem ser abruptas, incipientes ou intermitentes.

As falhas abruptas surgem repentinamente, podendo ser decorrentes de imprevistos ou até mesmo de acidentes. Essas falhas mudam o comportamento do processo rapidamente, exigindo contra ações velozes e eficazes que possam minimizar as consequências do ocorrido (SILVA, 2008).

As falhas incipientes iniciam a partir de pequenos desvios comportamentais do sistema, podendo ser mascaradas pelos controladores. Muitas vezes essas falhas acabam passando despercebidas pelos operadores ou até mesmo pelos sistemas de detecção e diagnóstico de falhas (SILVA, 2008).

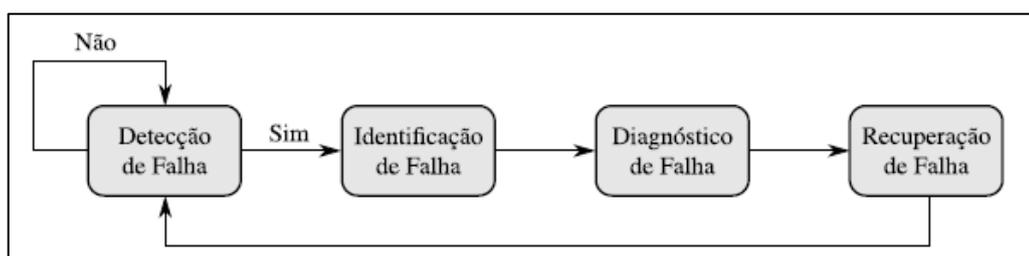
As falhas intermitentes são aquelas que ocorrem durante um certo período de tempo e, em seguida, desaparecem, voltando a aparecer após um novo intervalo. Podem ser causadas por alguma perturbação periódica ou por alguma situação que se repita ciclicamente (SILVA, 2008).

Com relação a localização das falhas, estas podem ocorrer nos sensores, nos atuadores ou na estrutura do sistema. As falhas nos sensores são observadas através de variações específicas nas medições, as quais podem ser descaracterizadas como variações válidas do sistema. As falhas nos atuadores podem ser vistas como qualquer mau funcionamento do equipamento que atua no sistema. As falhas na estrutura, ou falhas estruturais, ocorrem quando alguma alteração do sistema muda, de alguma forma, a relação original de entrada e saída do processo ou quando ocorre algum problema com algum dos dispositivos, desde que não sejam sensores ou atuadores, como por exemplo, os transmissores de sinal (SILVA, 2008).

4.5. Detecção e Diagnóstico de Falhas

Considerando que os processos industriais estão se tornando cada vez mais integrados e complexos, a ocorrência de falhas passa a ser mais um fator de complicação. As falhas que antes poderiam ser detectadas facilmente por medições diretas de determinada variável dependem agora de um conjunto de variáveis que atuam simultaneamente no sistema (REBOUÇAS, 2011).

Figura 3 - Fases Envolvidas no Monitoramento de Processos



Fonte: Rebouças (2011)

A detecção da falha se resume a determinar se ocorreu ou não uma falha. Quando realizada de maneira antecipada, a detecção de falhas pode fornecer informações valiosas com relação aos problemas que estão por acontecer. Assim, através de ações apropriadas, pode-se evitar grandes perturbações no processo (REBOUÇAS, 2011).

A identificação da falha tem por objetivo identificar as variáveis mais importantes para que se realize um diagnóstico apropriado. Para isso, essa fase procura concentrar as atenções do operador nos subsistemas mais pertinentes à falha, de tal modo que o efeito desta possa ser eliminado de maneira mais eficiente (REBOUÇAS, 2011).

A fase de diagnóstico da falha determina que falha ocorreu. De acordo com Isermann (2006), essa fase deverá indicar o maior número de detalhes possíveis a respeito da falha, tais como a intensidade, a localização e o momento em que a falha foi detectada. Essa fase é considerada essencial para uma contra ação ou eliminação da falha.

Por fim, a fase de recuperação da falha, também conhecida como fase de intervenção, tem por objetivo remover o efeito da falha para com o sistema, dando início a um novo ciclo de detecção e diagnóstico (REBOUÇAS, 2011).

4.6. Métodos de Detecção

Nas seções seguintes será feita uma breve análise dos métodos de detecção de falhas abordados em Isermann (2006). Vale salientar que existem na literatura vários outros métodos de detecção de falhas. Deseja-se aqui apenas trazer alguns exemplos.

4.6.1. Detecção de Falhas com Verificação de Limites

Considerado como um dos métodos mais simples e intuitivos, a detecção de falhas com verificação de limites baseia-se na medição direta de uma determinada variável e a comparação de seu valor absoluto ou de sua tendência com um limítrofe previamente especificado.

A verificação de valores absolutos baseia-se na utilização de dois limiares ou limítrofes fixos, denominados Y_{min} e Y_{max} . O funcionamento normal do sistema consiste em verificar se a variável Y está ou não contida no intervalo: $Y_{min} < Y < Y_{max}$.

Essa abordagem considera que o processo está funcionando normalmente quando a variável monitorada encontra-se dentro de uma zona de tolerância. Quando a variável monitorada excede um dos limiares estabelecidos, deduz-se que haverá uma falha em algum ponto do processo. Por mais simples que pareça, este método é aplicado na maioria dos sistemas de automação.

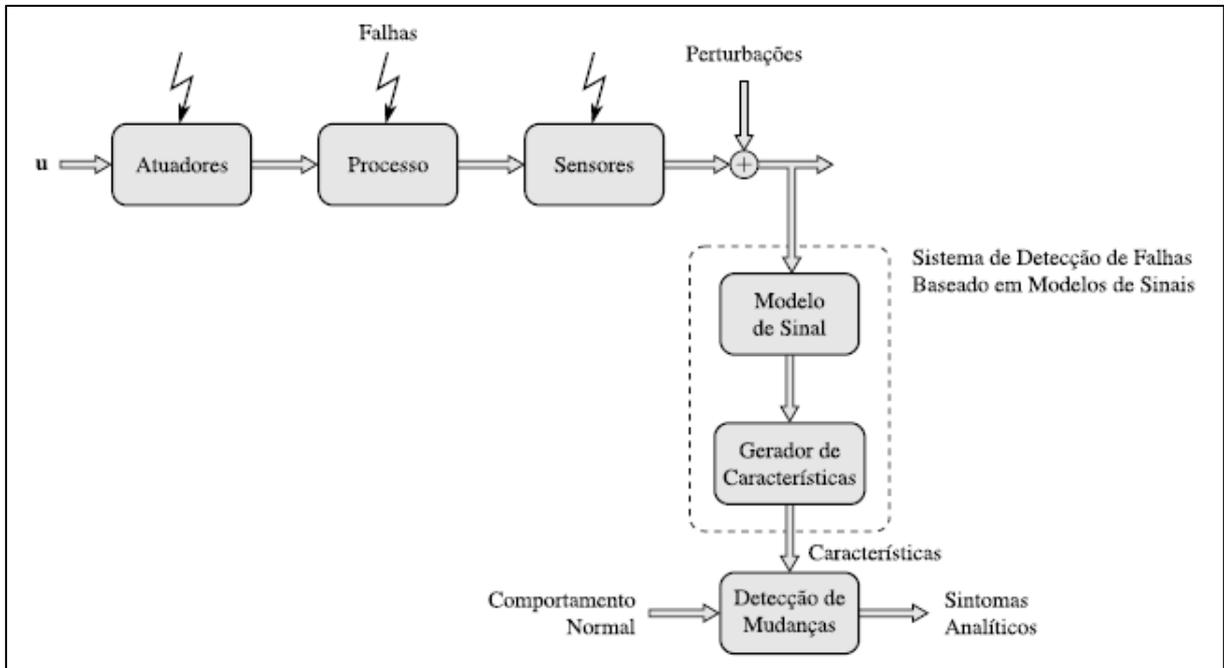
4.6.2. Detecção de Falhas com Modelos de Sinais

Diversos sinais medidos em um processo apresentam oscilações de natureza harmônica ou estocástica. Se as mudanças nesse sinal estiverem relacionadas com as falhas nos sensores, atuadores ou estruturais, pode-se detectar essas falhas através do uso de modelos de sinais.

Considera-se, portanto, que as características do sinal medido, tais como amplitude, fase, espectro de frequências, dentre outras, são calculadas a partir de modelos matemáticos do sinal e comparadas com as características observadas durante o funcionamento normal. As diferenças comportamentais geradas pela

comparação, denominadas de sintomas analíticos, são utilizadas para realizar a detecção das falhas.

Figura 4 - Diagrama Esquemático da Detecção de Falhas por Modelos de Sinais



Fonte: Rebouças (2011)

4.6.3. Detecção de Falhas Com Equações De Paridade

Uma das formas de se detectar falhas de maneira direta em um processo baseia-se na comparação do comportamento real com o comportamento nominal. A diferença entre os sinais de saída do processo real e os sinais de saída do modelo matemático que descreve sua dinâmica geram os resíduos utilizados para detecção da falha. De acordo com Silva (2008), os resíduos são a base de várias abordagens de sistemas de Detecção e Isolamento de Falhas (DIF).

Apesar da capacidade em indicar anormalidades no processo através das discrepâncias, essa abordagem possui a desvantagem de ser necessário se ter o conhecimento prévio das equações que regem a dinâmica do processo. Devido à dificuldade existente em se utilizar um modelo fenomenológico preciso, que leve em consideração, inclusive, os ruídos naturalmente presentes no processo, esse método não é muito utilizado.

4.6.4. Detecção de Falhas com Métodos de Identificação

Os modelos matemáticos de processos descrevem uma relação entre os sinais de entrada $u(t)$ e os sinais de saída $y(t)$. Em muitos dos casos não se conhece o processo por completo, o que inviabiliza a elaboração de um modelo preciso que leve em consideração os desvios comportamentais. Dessa forma, os métodos de identificação de processos precisam ser frequentemente aplicados antes da utilização de qualquer técnica de detecção de falhas.

4.6.5. Detecção de Falhas com Observadores e Estimadores de Estado

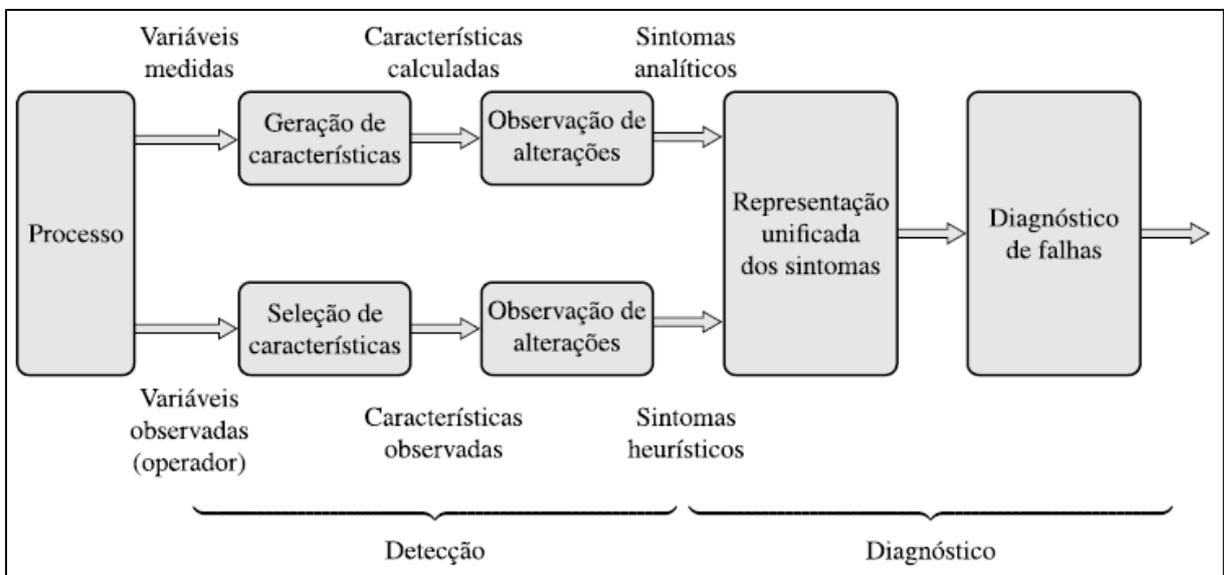
Considerando que os observadores de estado utilizam o erro de saída, dado pela diferença entre a medição da variável no processo e o modelo ajustável, pode-se dizer que eles são bons candidatos a sistemas de detecção baseados em modelos. Assume-se que, assim como no caso das abordagens que utilizam equações de paridade, a estrutura e os parâmetros do modelo precisam ser conhecidos. Dessa forma, os observadores de estado poderão ajustar as variáveis do modelo de acordo com as condições iniciais e com a evolução do processo, considerando os sinais medidos das variáveis de entrada e saída.

4.7. Métodos de Diagnóstico

Para Silva (2008) e Isermann (2006) a tarefa de diagnosticar uma falha consiste em determinar que uma falha ocorreu, indicando o maior número de detalhes possíveis, tais como o momento de detecção, o tipo, a localização e a intensidade da falha. Este procedimento de diagnóstico baseia-se nos sintomas analíticos e nos conhecimentos heurísticos do processo.

A abaixo sintetiza os passos necessários para o diagnóstico de falhas, tanto para variáveis medidas de maneira automática, quanto para variáveis observadas pelos operadores do processo. Em ambos os casos, a extração de características relativas as alterações comportamentais sobre o processo são necessárias. Os sintomas analíticos e heurísticos devem ser representados de maneira unificada a fim de se realizar o diagnóstico de maneira adequada (REBOUÇAS, 2011).

Figura 5 - Sequência de Passos que Levam ao Diagnóstico de Falhas

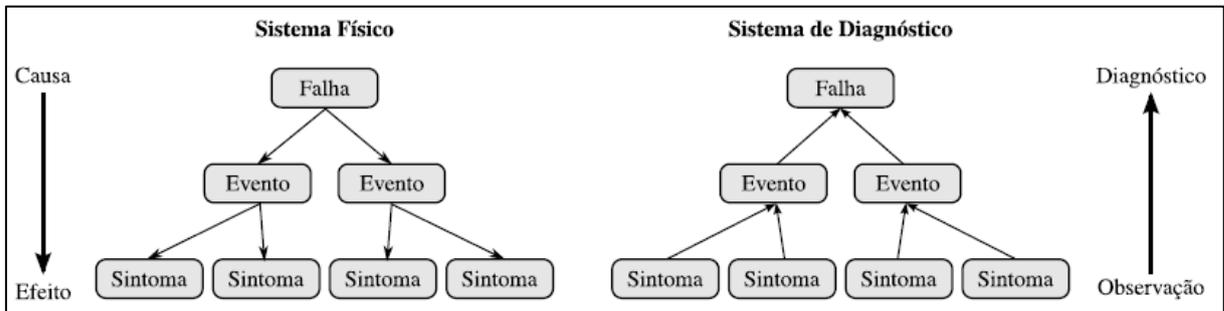


Fonte: Rebouças (2011)

Vale observar que as características são os valores obtidos a partir dos sinais ou de modelos de sinais do processo, os quais descrevem o seu estado atual. Já os sintomas são as possíveis alterações das características com relação a seus valores normais. As relações entre uma falha e seus sintomas seguem normalmente as relações físicas de causa e efeito. De maneira geral, pode-se dizer que uma falha produz "eventos" que por sua vez geram sintomas, conforme

observado na figura abaixo. O diagnóstico de falhas normalmente é realizado de maneira inversa, pois o sistema deve indicar as falhas a partir dos sintomas observados (REBOUÇAS, 2011).

Figura 6 - Relações entre Falhas e Sintomas



Fonte: Rebouças (2011)

4.8. Detecção e Diagnóstico de Falhas com Rna

Com a introdução das novas tecnologias de medição e o consequente aumento do número de instrumentos nos processos industriais, o número de informações disponíveis para um dado sistema tornou-se demasiadamente grande. Tal situação acaba por aumentar ainda mais a complexidade de processamento, tendo em vista que cada vez mais os procedimentos de DDF utilizam dados de histórico do processo. Dentre os exemplos desses métodos que fazem uso de histórico do processo estão aqueles baseados em RNAs (REBOUÇAS, 2011).

As RNAs podem ser classificadas como sendo estimadores de parâmetros de características gerais, utilizadas para a identificação de sistemas dinâmicos baseados em modelos de processos não-lineares. As RNAs também podem aparecer como métodos de inferência que aproximam o raciocínio humano (REBOUÇAS, 2011).

5. CONCLUSÃO

Através desse trabalho, foi possível identificar a importância dos sistemas de prognósticos e detecção de falhas. É perceptível a crescente necessidade das indústrias de obterem elevados níveis de produtividade, tendo como foco a maior disponibilização dos equipamentos utilizados nos diversos processos produtivos.

As RNAs, que têm como base a inteligência artificial computacional se apresentam como importantes aliados ao processo de prognóstico e detecção de falhas.

Hoje em dia as RNAs estão cada vez mais presentes nas indústrias. No segmento de Celulose e Papel, não é diferente, onde as RNAs já são empregadas na detecção e diagnóstico de falhas, visto que o processo em si demanda inúmeros cuidados operacionais, bem como ambientais. As RNAs trazem uma maior segurança operacional, pois retiram um pouco, da mão humana, inúmeras responsabilidades que poderiam vir a ter catástrofes imensas, como a explosão de uma caldeira de biomassa ou mesmo de recuperação química, já que a falha humana, estatisticamente, é bem maior do que a falha automática de equipamentos.

Os bons resultados obtidos na utilização das RNAs, servem como incentivo

para que outras aplicações inteligentes sejam desenvolvidas e aplicadas em ambientes industriais como forma de aumentar a disponibilidade de equipamentos em processos industriais, aumentando o lucro e consequentemente melhorando a economia mundial.

6. AGRADECIMENTOS

Ao nosso orientador, o prof. Osvaldo Vieira, somos gratos por sua orientação e apoio.

REFERÊNCIAS

BRAGA, A. P., Redes Neurais Artificiais – Teoria e Prática, LTC. 2007.

Data Science Academy. Acesso: 17/06/2018 URL>
<http://deeplearningbook.com.br/o-neuronio-biologico-e-matematico/>

HAYKIN, S. Redes Neurais: Princípios e Práticas. Bookman. 2010.

ISERMANN, R. Fault-diagnosis systems: an introduction from fault detection to fault tolerance, Springer-Verlag. 2006.

LAPRIE, J. C. AVIZIENIS, A. KOPETZ, H. Dependability: Basic Concepts and Terminology, Springer-Verlag New York, Inc., New York. 1992.

NETO, J. L. R. Detecção e Isolamento de Falhas em Motores de Indução Utilizando Técnicas de Inteligência Computacional. Dissertação de Mestrado, Belo Horizonte. Outubro, 2006.

REBOUÇAS, D. L. Utilização de Redes Neurais Artificiais para Detecção e Diagnóstico de Falhas. Dissertação de Mestrado, UFRN, Natal, 2011.

SILVA, D. R. C. Sistema de Detecção e Isolamento de Falhas em Sistemas Dinâmicos Baseados em Identificação Paramétrica, Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2008.

TEIXEIRA, L. M.; GOUVÊA, M. R.; ASSIS, R. O. S.; SOUZA, H. R. O.; SILVEIRA, M. A. Prognóstico e Detecção de Falhas em Plantas Industriais. Dissertação do XX Congresso Brasileiro de Automática, Belo Horizonte – MG. 20 a 24 de setembro de 2014.

WEBER, T. S. 'Um roteiro para exploração dos conceitos básicos de tolerância a falhas', 2002. Publicação online. [Acessado em 10/09/2010]. URL>
<http://www.inf.ufrgs.br/taisy/disciplinas/textos/>



ANÁLISE DE RISCOS NA CONDUÇÃO DE VEÍCULO 4X4 SOB A ÓTICA DA NR 17

Jailson Batista Xavier¹, Ariel Orlei Michaloski²

RESUMO

O objetivo desse estudo é analisar e propor condições de conforto a inspetores de manutenção de redes que utilizam veículos 4x4. Os resultados poderão identificar os principais problemas encontrados na construção atual dos veículos utilizados para realização desta atividade. Através da análise quantitativa efetuada, comprovou-se a presença de diversos fatores que colocam em risco a saúde e segurança dos trabalhadores tais como: postura inadequada, ruído, vibração, poeira, dentre outros. Constatou-se a necessidade de uma atenção maior com os profissionais que utilizam estes veículos, promovendo um plano detalhado da atividade a ser realizada adicionando condições que proporcionem uma melhor postura.

Palavras chave: Risco; Segurança; Ergonomia.

ABSTRACT

The objective of this study is to analyze and propose comfort conditions to network maintenance inspectors using 4x4 vehicles. The results can identify the main problems encountered in the current construction of the vehicles used to carry out this activity. Through the quantitative analysis, the presence of several factors that pose a risk to the worker's health and safety, such as: inadequate posture, noise, vibration, dust, among others, have been proven. It was observed the need for greater attention with the professionals who use these vehicles, promoting a detailed plan of the activity to be performed adding conditions that provide a better posture.

Keywords: Risk; Safety; Ergonomics.

1. INTRODUÇÃO

A indústria automobilística movimenta uma parte representativa da economia no mundo, sendo os veículos utilizados no transporte de passageiros, na movimentação de cargas, atendimento de diversos seguimentos da sociedade. As concessionárias de energia por sua vez necessitam de veículos automotores para diversos serviços, dentre os quais a inspeção de redes de alta tensão em regiões urbanas e rurais. Por muitas vezes as redes de transmissão estão situadas em locais de difícil acesso: aclives, declives, rampas, terrenos irregulares que se tornam inacessíveis por veículos sem tração 4x4.

¹ Acadêmico do curso de Eng^a de Segurança do Trabalho UTFPR. e-mail: jailsonbatistaxavier@yahoo.com.br

² Orientador e Professor do curso de Eng^a de Segurança do Trabalho UTFPR. e-mail: ariel@utfpr.edu.br

No momento em que o condutor está dirigindo seu veículo, diversos fatores estão influenciando, tais como: cargas biomecânicas (vibrações), reações dinâmicas do automóvel até acomodação do corpo ao acento. Para Flannagan et al. (2012) na relação corpo veículo, o acento é uma das principais causas dos incômodos percebidos pelo condutor, esta situação pode ser corrigida por meio do simples ajuste de posição. A Norma Regulamentadora número 17 do Ministério do Trabalho e Emprego (NR-17), tem por objetivo estabelecer parâmetros que permitam a adaptação das condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores, de modo a proporcionar um máximo de conforto, segurança e desempenho eficiente.

Diante disso, esse artigo visa avaliar as condições relacionadas à utilização do veículo Troller pelos inspetores de manutenção de rede em uma Concessionária de Energia Elétrica na Região Sul, sob a ótica da NR-17, propondo melhorias na execução das tarefas.

2. REVISÃO TEÓRICA

2.1 INSPEÇÃO

Concessionárias de energia elétrica utilizam veículo com tração 4X4 para acessar redes de transmissão e no atendimento à recomposição da rede elétrica. Este artigo analisou a atividade de inspeção visual e termográfica realizada por quatro duplas que se alternam uma semana por mês. Foi aplicado um questionário aos oito profissionais com intuito de identificar quais condições de risco e desconforto a atividade oferece. Do ponto de vista prático, a finalidade deste artigo foi identificar e propor melhores condições de conforto ao dirigir o veículo Troller; neste sentido, foram avaliados a postura inadequada, construção do veículo e tempo para realização da atividade. Dentre a funcionalidade do veículo o quesito embreagem foi item que mais recebeu críticas por parte dos entrevistados. Com relação à construção do veículo levou-se em consideração a suspensão, tração, câmbio e por fim o tempo de exposição à realização da atividade.

2.1.1 Análise de Risco

Trata-se de um método que permite identificar a probabilidade de uma ocorrência e medir suas conseqüências. O fator de risco é denominado pelo produto da freqüência de um risco pela sua gravidade, onde a freqüência é o volume dos acidentes que podem acontecer e a gravidade são os danos causados por um acidente. Desta forma, se torna possível fazer o gerenciamento efetivo dos riscos através da análise das causas básicas dos acidentes e da sua probabilidade de ocorrência (LOURENÇO, 2012).

2.1.2 Análise Preliminar de Risco – APR

Possibilita através da análise técnica, avaliar o trabalho a ser executado, permitindo identificar os riscos existentes em cada etapa de uma atividade. Tem como base o estudo e análise crítica através do questionamento, orientando sob os cuidados necessários para a execução do trabalho, proporcionando ao profissional estar sempre no controle da situação e eliminando os riscos de acidente no trabalho. Desta forma é possível prevenir, avaliar os riscos de acidente e tomar medidas de precaução (FURNAS, 2006).

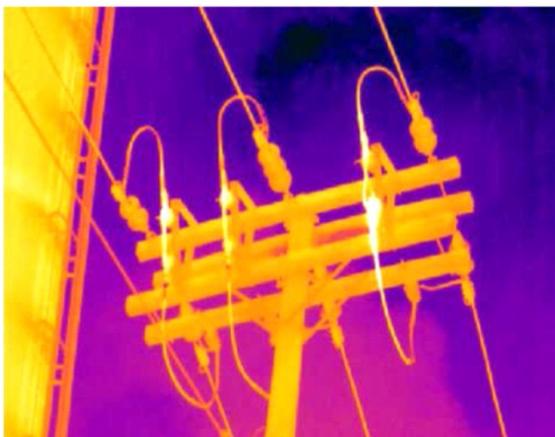
2.1.3 Inspeção Preditiva

Este tipo de inspeção propõe antecipar a necessidade de intervenção em peças e equipamentos industriais, impedindo a troca e o desgaste desnecessários. Em se tratando de redes e linhas de transmissão, possibilita detectar o desligamento acidental de cidades, empresas, grandes centros e com isso reduzir custos e aumentar o grau de confiabilidade da rede de energia (SIQUEIRA, 2009).

2.1.4 Termográfica

Pode ser definida como a reprodução de imagens através da emissão da radiação infravermelha. Através de câmeras instaladas no teto do carro que capturam o espectro eletromagnético e reproduzem a imagem dessa radiação, é possível descobrir sobreaquecimento em transformadores, conexões, terminais, cabos que podem ser indicativos de defeito e posteriores desligamentos indesejáveis. (VERATTI 2011).

Figura 1: Imagem termográfica da inspeção de redes.



Fonte: Elaborado pelo autor.

2.2 CONSTRUÇÃO DO VEÍCULO 4X4

O veículo 4X4 é construído sob um padrão rigoroso de qualidade que visa um melhor desempenho e uma maior segurança, buscando incessantemente uma melhor aderência e estabilidade. Na sua construção são aplicados pneus de diâmetro maior, suspensão mais resistente, controle eletrônico de tração e aceleração. Os veículos mais novos funcionam praticamente sem interferência do condutor e é adequado para qualquer tipo de terreno, o que proporciona uma maior segurança, pois aumenta a estabilidade e aderência do veículo em curvas e condições adversas.

2.2.1 Acionamento da tração

No veículo Troller o acionamento da tração fica localizado nas rodas dianteiras, fato que obriga o condutor acionar o mecanismo de tração pelo lado de fora. Sendo assim a condução do veículo requer muita atenção por parte do condutor ou navegador que, quando verifica que o veículo ultrapassará um obstáculo, terá de estacioná-lo e acionar a tração manualmente.

2.2.2 Regulagem dos bancos

A grande maioria dos veículos produzidos oferece diversas regulagens do banco, cinto de segurança e direção, no entanto cabe ao condutor regular altura do banco levando em consideração altura dos olhos com relação altura do painel, desta forma a cabeça permanecerá em posição reta. Com relação à inclinação do encosto, o correto ajuste proporciona ao condutor conforto ao dirigir, facilidade ao virar o volante e o perfeito apoio das costas, o que pode diminuir a tensão muscular ao final da jornada de trabalho.

2.2.3 Regulagem de altura e profundidade do volante

Poucos veículos possuem estes dois modos de ajustes, no entanto o veículo em estudo os oferece de fábrica, sendo que o ajuste correto auxilia uma postura adequada no assento. A correta regulagem de altura do volante oferece ao condutor visualizar a estrada por cima do painel, proporcionando que a coluna e o pescoço fiquem em posição reta. Posicionando uma distância de um palmo entre a base do volante e as coxas, proporciona o melhor movimento das pernas ao acionar os pedais.

2.2.4 Monitor de imagens

Na atividade de inspeção termográfica se faz necessário a utilização de um monitor de 19" para projeção de imagens e um tablet 5" que orienta o percurso a ser seguido pela equipe. O navegador necessita equilibrar o tablet e o monitor, acompanhado de um joystick, para realização das leituras termográficas. Com a fixação do monitor no painel frontal do veículo e do tablet no para brisa possibilitam ao navegador apoiar o joystick sobre as pernas.

2.2.5 Plataforma giratória

Os primeiros veículos possuíam uma haste de fixação que saía do banco do navegador em direção a porta, ocasionando-lhe desconforto e comprometendo a projeção das imagens. Nos veículos atuais, foram projetados no teto uma plataforma com base giratória que possibilita ao navegador girar a câmera termográfica em um ângulo de 360°.

3. OBJETIVO

O objetivo do presente estudo foi analisar e avaliar as condições de conforto e/ou desconforto junto a condutores de veículos 4x4 na realização de inspeção de redes de alta tensão. Os resultados serviram para identificar os principais problemas encontrados na condução de veículos Troller e, posteriormente, propor soluções que ofereçam uma melhor dirigibilidade e conforto.

4. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo apresentou delineamento longitudinal. Fundamentado na experimentação e na observação criteriosa de situações de trabalho, contando com o consentimento livre dos pesquisados. Participaram 08 profissionais, do sexo masculino, com idade média de 42 anos, peso médio 71 Kg e estatura média 179 cm. Todos os condutores são funcionários de uma concessionária de energia

elétrica da região sul e trabalham na atividade de inspeção e manutenção de redes de alta tensão. Os empregados participaram de forma voluntária e os seus dados pessoais foram coletados num período de 60 dias, em intervalo de quatro horas, intercalando os turnos manhã e tarde.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise das informações obtidas através do questionário Nórdico possibilita verificar as partes do corpo humano que sofrem alguma condição de incômodo, o número de profissionais atingidos e a frequência que o desconforto é sentido. Constatou-se que, no período dos últimos 12 meses, a coluna lombar é a maior responsável pelas queixas por parte dos inspetores, com 37,5%, em segundo vem a coluna dorsal e os joelhos com 25% e, por fim, pescoço, ombros, quadril e coxas com 12,5%. Isso se deve ao número de horas que os inspetores passam sentados, ou seja, de 6 a 8 horas no exercício da função, sem realizar ginástica laboral ou algum tipo de alongamento.

Quadro 1: Resultado do questionário Nórdico

Região do corpo	Últimos 7 dias		Últimos 12 meses		Afastamento	
	N	%	N	%	N	%
Pescoço	1	12,50 %	2	25,00 %		
Ombros	1	12,50 %	1	12,50 %		
Cotovelos						
Punhos/Mãos			1	12,50 %		
Coluna Dorsal	2	25,00 %	2	25,00 %		
Coluna Lombar	3	37,50 %	3	37,50 %		
Quadril/Coxas	1	12,50 %	1	12,50 %		
Joelhos	2	25,00 %	2	25,00 %	1	12,50 %
Tornozelos/Pés						

Fonte: Elaborado pelo autor

Os dados analisados permitem observar que no período houve apenas um afastamento em decorrência de problemas nos joelhos. Ao serem questionados, os profissionais relataram que tomam algum tipo de relaxante muscular por conta própria em virtude de dores no corpo.

Questionário Nórdico

A aplicação do questionário Nórdico visa identificar os sintomas de dor e desconforto osteo musculares decorrentes de situações ergonômicas apresentadas pelos trabalhadores (VIEIRA, 2010). O questionário é dividido em perguntas sobre diversas regiões anatômicas como pescoço, ombros, quadris entre outros. Com estes dados pode-se observar os sintomas apresentados pelos profissionais em um espaço de tempo, bem como algum tipo de afastamento causado pela atividade de trabalho.

O questionário Nórdico foi criado para ser autopreenchido, sendo o corpo humano dividido em nove partes para obter o melhor resultado da pesquisa (Lida,

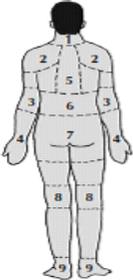
2005). Desta forma os pesquisados deverão responder “não” ou “sim” para três situações envolvendo essas nove partes:

Você teve algum problema nos últimos 7 dias?

Você teve algum problema nos últimos 12 meses?

Você teve que deixar de trabalhar algum dia nos últimos 12 meses devido ao problema?

Figura 4 - Questionário Nórdico

		Questionário Nórdico dos sintomas músculo-esquelético		
		Marque um (x) na resposta apropriada. Marque apenas um (x) para cada questão. Não, indica conforto, saúde — Sim, indica incômodos, desconfortos, dores nessa parte do corpo.		
		ATENÇÃO: O desenho ao lado representa apenas uma posição aproximada das partes do corpo. Assinale a parte que mais se aproxima do seu problema		
Partes do corpo com problemas	Você teve algum problema nos últimos 7 dias?	Você teve algum problema nos últimos 12 meses?	Você teve que deixar de trabalhar algum dia nos últimos 12 meses devido ao problema?	
1 - Pescoço	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim	
2 - Ombros	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim - ombro direito 3 <input type="checkbox"/> Sim - ombro esquerdo 4 <input type="checkbox"/> Sim - os dois ombros	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim - ombro direito 3 <input type="checkbox"/> Sim - ombro esquerdo 4 <input type="checkbox"/> Sim - os dois ombros	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim	
3 - Cotovelos	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim - cotovelo direito 3 <input type="checkbox"/> Sim - cotovelo esquerdo 4 <input type="checkbox"/> Sim - os dois cotovelos	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim - cotovelo direito 3 <input type="checkbox"/> Sim - cotovelo esquerdo 4 <input type="checkbox"/> Sim - os dois cotovelos	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim	
4 - Punhos e mãos	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim - punho/mão direita 3 <input type="checkbox"/> Sim - punho/mão esquerda 4 <input type="checkbox"/> Sim - os dois punho/mão	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim - punho/mão direita 3 <input type="checkbox"/> Sim - punho/mão esquerda 4 <input type="checkbox"/> Sim - os dois punho/mão		
5 - Coluna dorsal	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim	
6 - Coluna lombar	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim	
7 - Quadril ou coxas	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim	
8 - Joelhos	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim	
9 - Tomozelo ou pés	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim	1 <input type="checkbox"/> Não 2 <input type="checkbox"/> Sim	

Fonte: lida (2005).

Com auxílio do questionário Nórdico a equipe ocupacional pode analisar problemas músculos esqueléticos, podendo determinar a causa do problema, como por exemplo, o diagnóstico de tensão do trabalho, e também propor melhorias na estação de trabalho.

Método OWAS - Ovako Working Analysis System

O método OWAS foi desenvolvido com intuito de mapear sem preocupação com aspectos de vibração e dispêndio de energia. Desta forma atenção fica direcionada ao profissional e ao seu local de trabalho, sendo analisado o ambiente e a execução da atividade. Com isso pode-se observar o corpo do profissional e sua localização, sem saber com exatidão o que o trabalhador está fazendo. A combinação do sistema de codificação é descrito por Diniz (2008):

Dígito 1- Costas (4 posições típicas): 1 para costas eretas, em posição neutra; 2 para flexão ou extensão de tronco; 3 para inclinação ou rotação de tronco; 4 para a combinação de movimentos, flexão e rotação, por exemplo.

Dígito 2- Braços (3 posições típicas): 1 para ambos os braços, abaixo do nível da altura dos ombros; 2 para, pelo menos, um dos braços, no nível ou acima do nível da altura dos ombros; e 3 para ambos os braços, no nível ou acima do nível da altura dos ombros.

Dígito 3- Pernas (7 posições típicas): 1 para a postura sentado; 2 para a postura de pé, com ambas as pernas eretas, na postura neutra; 3 para a postura de pé, com o peso do corpo distribuído em apenas uma das pernas; 4 para a postura de pé ou agachado, com ambos as pernas em flexão; 5 para a postura de pé ou agachado, com apenas uma das pernas em flexão; 6 para ajoelhado, com um ou ambos os joelhos; e 7 para posturas dinâmicas, como caminhando, se movimentando.

Dígito 4 – Força ou Carga envolvida (3 posições típicas): 1 para peso ou força envolvida com 10 kg ou menos; 2 para peso ou força envolvida entre 10 kg e 20 kg; e 3 para peso ou força envolvida acima de 20 kg, ou seja, a combinação entre os códigos dos segmentos corporais já descritos (costas, braços e pernas) e o peso ou força exercida, representados por dígitos/número, codificando assim cada postura assumida 32.

Dígitos 5 e 6– Fase do Trabalho: dois dígitos são reservados para fase da atividade variando de 00 a 99, selecionados a partir da subdivisão de tarefas.

Aplicação do Método OWAS

Com a aplicação do método de análise postural, foram avaliadas as posturas que mais causam danos à saúde, de acordo com as atividades realizadas pelos inspetores. As exigências físicas do trabalho e análise das posturas foram realizadas com relação à observação direta dos indivíduos e pela captura de imagens fotográficas.

Figura 5 – Sistema OWAS para o registro da postura

DORSO	 1 Reto	 2 Inclinado	 3 Reto e torcido	 4 Inclinado e torcido ex: 2151 RF
	BRAÇOS	 1 Dois braços para baixo	 2 Um braço para cima	 3 Dois braços para cima
PERNAS		 1 Duas pernas retas	 2 Uma perna reta	 3 Duas pernas flexionadas
	 4 Uma perna flexionada	 5 Uma perna ajoelhada	 6 Deslocamento com pernas	 7 Duas pernas suspensas
	CARGA	 1 Carga ou força até 10 kg	 2 Carga ou força entre 10 kg e 20 kg	 3 Carga ou força acima de 20 kg

Fonte: Iida (2005)

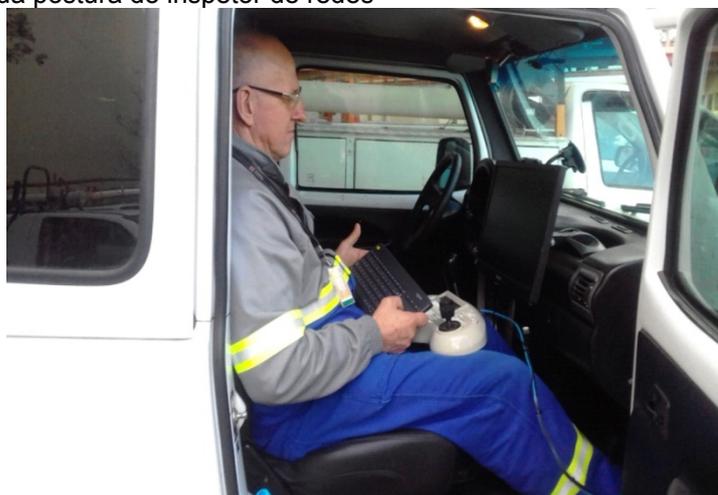
A análise postural foi realizada no decorrer das atividades diárias dos inspetores, sendo utilizado o método OWAS e o software Ergolândia, nas atividades de condução do veículo Troller e no gerenciamento de imagens termográficas, as quais o condutor e o inspetor de redes desempenham, conforme figuras abaixo.

Figura 6: Avaliação da postura do condutor



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 7: Avaliação da postura do inspetor de redes



Fonte: Elaborado pelo autor

Segundo Lida (2005), a postura acima está classificada como 2131, desta forma, está na Classe 2, sendo considerada uma postura que deve ser verificada em uma próxima revisão nos métodos de trabalho. Pode-se observar, ainda, através do software que a postura adotada pelo inspetor, obteve-se o seguinte resultado:

Figura 8 - Tela de avaliação OWAS

Número de tarefas

Postura das costas

1. Ereta
2. Inclínada
3. Ereta e torcida
4. Inclínada e torcida

Tarefa: 1
Descrição da tarefa: Condução do veículo
Porcentagem de tempo nesta tarefa: %

SALVAR DADOS
BANCO DE DADOS
INFORMAÇÕES

Postura dos braços

1. Os dois braços abaixo dos ombros
2. Um braço no nível ou acima dos ombros
3. Ambos os braços no nível ou acima dos ombros

Postura das pernas

1. Sentado
2. De pé com ambas as pernas esticadas
3. De pé com o peso de uma das pernas esticadas
4. De pé ou agachado com ambos os joelhos flexionados
5. De pé ou agachado com um dos joelhos dobrados
6. Ajoelhado em um ou ambos os joelhos
7. Andando ou se movendo

Esforço

1. Carga menor ou igual 10 Kg
2. Carga maior que 10 Kg e menor ou igual 20 Kg
3. Carga maior que 20 Kg

CATEGORIA DE AÇÃO

2. São necessárias correções em um futuro próximo

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao final da análise, pode-se verificar que tanto pelo método OWAS quanto pelo auxílio do programa Ergolândia, pode-se deduzir que a postura observada em ambas as situações é de Classe 2, isto significa que a postura do profissional deverá ser corrigida em um futuro próximo.

Análise e Discussão dos Resultados Obtidos

Este estudo de caso foi descrito com inspetores de manutenção de redes em uma Concessionária de Energia Elétrica na cidade de Ponta Grossa; Ester profissionais trabalham várias horas por dia e apresentam condição de desconforto. Constatou-se a necessidade de traçar um perfil e identificar quais são as principais queixas dos inspetores com relação ao conforto do veículo Troller, analisando a condição ergonômica do posto de trabalho na atividade exercida. Neste trabalho foram aplicados questionários, realizadas observações através da captura de imagens e da aplicação de ferramentas ergonômicas.

A pesquisa iniciou com o acompanhamento da rotina de trabalho dos profissionais, observando suas atividades durante oito semanas, revezando a rotina entre manhãs e tardes. O objetivo era constatar as posições adotadas que mais causavam a condição de desconforto. Foram utilizadas ferramentas de análises ergonômicas, tais como: aplicação do questionário Nórdico, que tem como finalidade identificar sintomas de dor e desconforto e a metodologia OWAS e o software Ergolândia que servem para análise postural. Com o levantamento realizado foram projetadas as informações no quadro abaixo:

Quadro 2: Avaliação dos itens do veículo Troller

Itens avaliados no veículo	Reclamações	
	N	%
Embreagem	7	88,0 %
Regulagem dos bancos		
Posição dos mostradores	1	12,5 %
Regulagem da direção		
Posição da alavanca do câmbio	2	25,0 %
Acionamento de tração	4	50,0 %
Posição dos espelhos	5	62,5 %
Espaço interno	1	12,5 %
Vibração	2	25,0 %
Estabilidade	1	12,5 %

Fonte: Elaborado pelo autor

O estudo foi realizado com oito profissionais, sendo aplicado um questionário com intuito de caracterizar a amostra a ser analisada. O público da pesquisa são homens, com idade média de 42 anos, peso de 71 kg e altura de 1,79 m. O veículo utilizado é um Troller 4x4 fabricado no ano de 2010. Ao serem questionados sobre altura do volante, 100% dos pesquisados relataram que estão satisfeitos com a regulagem de altura. Com relação ao assento, a totalidade dos entrevistados pontuou o modelo como bom a ótimo. Quanto às reclamações, 87,5 % queixaram-se do pedal da embreagem, relatando ser o mesmo pesado, causando dores nas articulações da perna esquerda ao final da jornada de trabalho. Os espelhos foram o segundo item listado nas reclamações por parte dos usuários com 62,50% seguido pelo acionamento de tração com 50%, visto ser necessário acioná-la pelo lado de fora do veículo.

Com relação à visão geral dos profissionais analisados, foi aplicado o questionário Nórdico e constatou-se as regiões do corpo que sofreram mais a condição de desconforto durante a atividade de trabalho de 6 a 8 horas. Sendo que, durante os últimos 12 meses, a coluna lombar apresentou 37,5% sendo a maior responsável pelas queixas por parte dos inspetores, em segundo vem a coluna dorsal e os joelhos com 25% e por fim, pescoço, ombros, quadril e coxas, com 12,5%.

Tendo sido usado o questionário Nórdico como ferramenta, pode-se verificar que os problemas relatados pelos inspetores estão concentrados na região das costas, ombros e joelhos, o que garante que as pesquisas realizadas anteriormente estão relacionadas com o que foi afirmado, visto que os profissionais passam várias horas por dia trabalhando na mesma posição, ou seja, na posição sentada.

Através da análise de OWAS e do software Ergolândia, pode-se observar que a utilização de ambos os métodos são equivalentes. Levando em consideração as classificações referentes às posturas estudadas, chegou a classificações do tipo: Classe 2: postura - deve ser tomada uma devida atenção e, durante uma próxima revisão, deve ser novamente analisada. Pode-se observar que a coluna lombar é a que sofre mais condição de desconforto com relação à atividade exercida, sendo esta informação averiguada através dos questionários e da análise das ferramentas de ergonomia utilizadas.

6. CONCLUSÃO

Com base nos pontos avaliados críticos que foram observados nas etapas anteriores, foram sugeridas melhorias para adequar o ambiente de trabalho dos inspetores, tais como fixação do monitor de imagens termográficas e do tablet utilizado no gerenciamento da rota. Em relação às dores, principalmente as lombar, é recomendado que antes de começar as atividades sejam feitos exercícios leves. A realização de alongamento e a prática de ginástica laboral favorecem o bem-estar do condutor e do inspetor. Com relação à embreagem, foi sugerida a empresa proprietária do veículo a instalação de um câmbio automatizado que iniba a utilização da embreagem, desta forma o condutor reduz o esforço ao acionar o pedal. Recomenda-se, quanto ao sistema de tração, que seja analisado uma proposta de melhoria em um próximo trabalho.

REFERÊNCIAS

DINIZ, R. L. A confiabilidade das observações da técnica OWAS para avaliação de posturas ocupacionais. In: XV Congresso Brasileiro de Ergonomia. VI Fórum Brasileiro de Ergonomia. Recife : ABERGO, 2008.

FLANNAGAN, CAC Manary, MA Schneider, LW & Reed, MP 2012, An Improved Seating Accommodation Model with Application to Different User Populations, *International Congress and Exposition Detroit*.

Disponível: http://mreed.umtri.umich.edu/mreed/pubs/Flannagan_19980651.pdf
[Consult. 14 de abril 2011].

Furnas Centrais Elétricas S.A., **Superintendência de Recursos Humanos, Departamento de Segurança e Higiene industrial. Apostila Curso Básico – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade**. Rio de Janeiro, 2006.

IIDA, I. Ergonomia: projeto e produção. 2ª. ed. Rio de Janeiro: Edgard Blucher, 2005.

LOURENÇO, H.; LOBÃO, E. C. Análise da Segurança do Trabalho em Serviços com Eletricidade sob a Ótica da Nova NR-10.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. NR-17 - Ergonomia:.

SIQUEIRA, Iony Patriota de. Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de Implementação. 1. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009. 412 p

VERATTI, Attílio Bruno. Termográfica –Princípios, Aplicações e Qualidade. ICON, São Paulo, Dezembro, 2011.

VIEIRA, E. R.; KUMAR, S. Esforço físico ocupacional e saúde músculo esquelética.



ANÁLISE DO FERMENTADO DE AMORA: COMPARAÇÃO ENTRE O PRODUTO ARTESANAL EM RELAÇÃO AO INDUSTRIAL

Amanda Carolyne Gonçalves da Luz¹ e Fernanda de Oliveira²

RESUMO

Em decorrência do grande crescimento da plantação de pequenas frutas, a sua destinação após a colheita é uma preocupação, pois o seu tempo de vida é muito curto. Percebendo o potencial de mercado dessas frutas, o desenvolvimento de novos produtos tem se tornado cada vez mais comum. O fermentado alcoólico que geralmente é produzido com a uva tem como alternativa a utilização da amora como matéria-prima. O presente trabalho tem como finalidade comparar o fermentado de amora artesanal com o fermentado industrial. Realizando análises com a fruta e os fermentados.

Palavras-chave: Amora; Fermentado; Comparação.

ABSTRACT

As a result of the small fruit plantation increasing, the destination of the fruits after the harvesting is a concern, because their lifetime is really short, so their utilization must be thought previously. Understanding the market potential of these fruits, the development of new products has been become more common. The alcoholic fermented that is usually produced with grape, has as an alternative the utilization of the blackberry as the raw material. The present work has as its objective the comparison between the handmade blackberry fermented and the industrial fermented. Analyzes will be made using the fruit and the fermented.

Keywords: Blackberry; Fermented; Comparison.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a produção de frutas frescas vem conquistando seu espaço, em decorrência da conscientização de uma alimentação saudável.

Vários produtos podem ser feitos de frutas, entre eles, bebidas fermentadas. Sendo estas bebidas com um período maior de vida útil e valor agregado. A aceitação das bebidas fermentadas em pesquisas de consumo é muito promissora, pois reduzem a perda das frutas após a colheita. Frutas como maçã e uva são utilizadas tradicionalmente em bebidas fermentadas alcoólicas, porém esses produtos podem ser produzidos por uma variedade de frutas (MUNIZ et al, 2002). De acordo com Ferri e Saggin (2014) é necessário apenas que a fruta tenha uma composição de açúcares razoáveis, como a amora.

A amora é uma fruta de alto valor nutritivo e medicinal, na sua composição

¹ Acadêmica do curso de Engenharia Química da FATEB – e-mail: <amandacarolyne@outlook.com>.

² Mestranda em Engenharia Mecânica pela UTFPR e professora do Departamento de Engenharia Química da FATEB – e-mail: <fernandadeoliveira@ymail.com>.

possui substâncias poderosas, que determinam a qualidade do fruto e quando ingeridas reduzem os riscos de doenças degenerativas, cardiovasculares, por fortalecer o nosso sistema imunológico (RETANA E ARAYA; GUEDES, 2005; 2013).

O sabor da amora pode variar entre adocicado até levemente azedo. A classificação da amora mais utilizada é feita através da coloração: branca, vermelha e preta (Figura 1).

Figura 1 - Variação na coloração da amora.



Fonte: O autor.

A amora preta do gênero *Rubus*, se adapta muito bem em climas temperados, mesmo com a chuva e o tempo frio (SANTOS, 2004). Segundo Antunes (2002) as temperaturas frias influenciam diretamente no equilíbrio de acidez e açúcar, e no desenvolvimento da coloração do fruto.

As frutas podem ser consumidas in natura, utilizadas na fabricação de produtos como tortas, geleias, sorvetes e cristalizados (FERREIRA, 2012). Em determinados processos, o uso de frutas congeladas (in vitro) é muito comum.

A amora-preta é considerada uma fruta muito sensível, pois sua composição contém uma grande quantidade de água (85-93%), proteínas (1,5%), fibras (3,5-4,7%), carboidratos (6-13%) (POLING, 1996; EMBRAPA, 2008). A deficiência na composição pode ocorrer principalmente quando as condições de solo não estão de acordo com a necessidade da planta. A amora utilizada será da variedade Brazos, originária dos Estados Unidos da América. Seus frutos são firmes, sabor ácido e adstringente (POLING, 1996).

A fermentação é um processo muito antigo, mesmo que o homem desconhecesse a existência de microrganismos já utilizava reservar as frutas para a produção de bebidas. O processo fermentativo ocorre em meios anaeróbicos por meio de microrganismos e bactérias, considerado um processo de oxidação incompleto. Segundo BORZANI (2001) as bactérias e os microrganismos se alimentam de algum componente natural, se multiplicando.

O desempenho do processo é resultado da produtividade da fermentação em fatores de produção, o rendimento do processo é resultante do fator de conversão do substrato em produto e a eficiência depende do valor de conversão dos açúcares (HISS, 2001).

Quando falamos de fermentação alcoólica, vemos os microrganismos realizando reações químicas sobre os açúcares, resultando em etanol e gás carbônico (CORAZZA, RODRIGUES, NOZAKI, 2001).

Para fermentação é necessário que os níveis de açúcares sejam razoáveis (SILVA, et al 2010). Segundo DA SILVA et al (2008) parâmetros são definidos para que exista uma boa conservação dessa qualidade, tanto da fruta quanto do fermentado como um todo. Se não forem cumpridos esses parâmetros exigidos pelo Ministério de Agricultura Brasileira, os fermentados não podem ser comercializados.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Na cidade de Ponta Grossa – Paraná encontra-se a Adega Porto Brazos, empresa que é especializada na fabricação de uma grande variedade de produtos de amora. A empresa fornecerá as amoras que são cultivadas em sua fazenda, utilizadas para a fabricação do fermentado de amora artesanal e fornecerá também o fermentado de amora industrial que será utilizado na comparação (Figura 2).

Figura 2 - Fermentado Porto Brazos de cinco anos.



Fonte: O autor.

2.1 Preparação do Mosto para o Processo Fermentativo

Microrganismo *Saccharomyces cerevisiae*. A preparação do microrganismo realizará com o processo de crescimento das células, onde será mantido na FATEB em um recipiente esterilizado, em agitação. Agitador modelo Q261M22 – QUIMIS de 150rpm à temperatura de 28°C por 24 horas, em um meio de 1% de extrato de levedura, 1% de peptona, 2 % de glicose. Reagentes serão preparados na FATEB. Logo após as células serão lavadas com solução salina de 0,85%, seguida de centrifugação em um equipamento modelo SORVALL ST 16R, durante 15 minutos em uma rotação de 3500rpm.

2.2 Preparação da Fruta

A matéria-prima será a amora-preta cv. Brazos. Depois de lavada e selecionada, será medido os teores de sólidos solúveis totais, umidade, pH, acidez titulável e açúcares redutores totais. Logo após realizará a classificação, extração e a lavagem das amoras, em seguida, o processo para retirada do suco da fruta. Adicionará o Metabissulfito de Sódio 10% para a realização da sulfitação. Acontecerá então a adição de sacarose ao mosto.

2.3 Processo Fermentativo

Em um recipiente de 10L, à temperatura ambiente, será adicionado a metade do volume com o mosto, o pH será o inicial da fruta. O recipiente deve conter uma saída de ar, onde conectará uma mangueira de silicone, a sua extremidade estará submersa em um béquer com água destilada, impedindo assim a entrada de ar e liberando o gás carbônico (CO₂) gerado na fermentação. O tempo de fermentação será de seis meses.

2.4 Análises do Fermentado Artesanal e do Fermentado Industrial

Fermentado Artesanal será produzido na FATEB (Faculdade de Telêmaco Borba) e o Fermentado Industrial será fornecido pela Adega Porto Brazos (Ponta Grossa - PR). As determinações analíticas serão realizadas no fermentado artesanal para uma comparação com um fermentado de cinco anos da Adega Porto Brazos com intenção de observar as diferenças pelo tempo de fermentação.

2.4.1 PH

Será determinado através de um pHmetro digital de bancada (QUIMIS - modelo Q400MT).

2.4.2 Acidez Titulável Total

A determinação acontecerá através de titulação com HCl, utilizando o indicador em uma solução do suco de amora com o BaCl em decantação por aproximadamente 1 hora.

2.4.3 Sólidos Solúveis Totais

O procedimento será realizado com os fermentado artesanal e industrial. Utilizando estufa de 105°C com placas de Petri para pesar o conteúdo do fermentado.

2.4.4 Açúcares Redutores Totais (ART)

A amostra será misturada com HCl em banho-maria. Resfriamento será com banho de gelo com NaOH. A determinação dos açúcares redutores totais será através de DNS aquecido, fazendo a leitura em um espectrofotômetro.

2.4.5 Etanol

Será utilizado o método de destilação com manta térmica, evaporando o etanol, calculando sua quantidade pelo peso da amostra final em comparação com

a inicial.

2.4.6 Densidade

A densidade relativa das amostras será determinada por Picnometria.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, et al. **Caracterização do vinho de morango no processo de fermentação alcoólica**. VIII EPCC – Encontro Internacional de Produção Científica Cesumar - Maringá – Paraná – Brasil, 2013.

ANTUNES, L. E. C.; REGINA, M. A.; DUARTE FILHO, J. **A cultura da amora-preta**. Belo Horizonte: Epamig, 2002. 28 p. (EPAMIG. Boletim técnico, 69).

BORZANI, W. **Processo biotecnológico industrial genérico**. BORZANI, W; SCHMIDELL, W; LIMA, U. A; AQUARONE, E. Fundamentos. São Paulo. Edgard Blücher, 2001. cap. 9, p. 249-252, vol. 1.

CORAZZA, Marcos L.; RODRIGUES, Dina G.; NOZAKI, Jorge. **Preparação e caracterização do vinho de laranja**. Química Nova. São Paulo, v. 24, n. 4, p. 449-452, Jul/Ago. 2001.

DA SILVA, et al. **Utilização de abacaxi para elaboração de vinhos: avaliação físico química e aceitabilidade holos**, vol. 3, 2010, pp. 108-118 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte Natal, Brasil.

DA SILVA, et al. **Avaliação da composição química de fermentados alcoólicos de jabuticaba (myrciaria jabuticaba)**. Quím. Nova, Vol. 31, No. 3, 595-600, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema de produção da amoreira preta**. Brasília: Embrapa, 2008.

FERREIRA, Letícia Vanni. **Produção e qualidade de amoreira-preta em diferentes sistemas de condução, doses de torta de mamona e concentrações de cálcio e boro**. 2012. 97f. Dissertação (Mestrado)- Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas - RS.

FERRI, Marcelo J. SAGGIN, Renato. **Elaboração de fermentado alcoólico de amora preta (*Rubus spp.*) com mel de abelha (*Apis mellifera*)**. 2014. 36f. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2014.

GUEDES, M. N. S. **Caracterização física, físico-química, química e armazenamento de amoras cultivadas em clima tropical de altitude**. UFLA, 2013.

HISS, H. **Cinética de Processos Fermentativos**. SCHMIDELL, W. LIMA, U. A. AQUARONE, E. BORZANI, W. Engenharia Bioquímica. São Paulo. Edgard Blücher, 2001. cap. 6, p. 93-122, vol. 2.

MUNIZ, et al. **Bebidas fermentadas a partir de frutos tropicais**. B.CEPPA, Curitiba, v. 20, n. 2, jul./dez. 2002.

POLING, E.B. Blackberries. **Journal of Small Fruit and Viticulture**, Baton Rouge, v. 14, n. 1-2, p.38-69. 1996.

RETANA, J. J. C.; ARAYA, M. M. C.; **Mora (Rubus spp.) Cultivo y Manejo Poscosecha. Sistema Unificado de Información Institucional, Fundación para el Fomento y Promoción de la Investigación y Transferência de Tecnología Agropecuária de Costa Rica**, San José, Costa Rica, 20 p., 2005.

RIBEIRO, J. H. **Brasil é o terceiro maior produtor de frutas do mundo**. Disponível em: <<https://acifaacunesp.com/2017/09/17/brasil-e-o-terceiro-maior-produtor-de-frutas-do-mundo/>> Acessado em 02/10/2018.

SANTOS, A. M., RASEIRA, M. B., MADAIL, J. M. **Coleção Plantar - A Cultura da Amora-Preta**, Brasília: EMBRAPAS-PI. v. 1, n.33, p 28-9, 1996.



APLICAÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA AVALIAÇÃO DE UMA TORRE DE RESFRIAMENTO

Laryssa Souza Moreira¹ e Theyziele de Souza Chelis² Luiz Renato Pesch³

RESUMO

O avanço tecnológico tem introduzido no mercado algumas fontes para concretização de projeto baseados na possibilidade de máquinas pensarem. Sendo assim, a utilização de programação para resolução de problemas está sendo cada vez mais instalada em indústrias com o objetivo de otimizar cada etapa do processo para que como um todo, esteja mais viável e mais rentável economicamente. Este presente artigo, visou a criação de um algoritmo para a otimização de uma torre de resfriamento, baseado numa escala industrial sendo formalizado através da lógica Fuzzy. O que pode-se perceber é que, com a finalização exata do mesmo, percebe-se que um cálculo realizado através de programação mostra efetivo ganho de produtividade devido ao balanço de rendimento dos maquinários executado no programa Lazarus com a linguagem Pascal.

Palavras-chave: inteligência artificial; lógica Fuzzy; programador Lazarus.

ABSTRACT

The technological advance has introduced some sources for project realization based on the possibility of machines thinking. Therefore, the use of programming for problem solving is being increasingly installed in industries with the objective of optimizing each stage of the process so that as a whole, it is more feasible and more economically profitable. This article aims at the creation of an algorithm for the optimization of a cooling tower based on an industrial scale being formalized through Fuzzy logic. What can be perceived is that, with the exact completion of the same, it is realized that a calculation carried out through programming shows an effective gain in productivity due to the balance of yield of the machines executed in the program Lazarus with the Pascal language.

Key-words: artificial intelligence; Fuzzy logic; programmer Lazarus.

1. INTRODUÇÃO

O pensamento inicial para a IA (Inteligência Artificial) partiu de Alan Turing (1950 apud GUNKEL, 2017) que consistia na concepção de uma indagação que uma máquina poderia pensar. Os tempos modernos aceitaram essa linha de raciocínio tão bem que em suma, grande parte do tempo está voltado para as benfeitorias ou tentativa delas em qualquer âmbito.

Elaine Rich (1988) descreve que conceituar exatamente o que pode ser

¹ Acadêmica do curso de Engenharia Química da FATEB – e-mail: <larysouzamoreira@hotmail.com>.

² Acadêmica do curso de Engenharia Química da FATEB – e-mail: <theyziele@gmail.com>.

³ Mestre em Engenharia Química, pelo Universidade Estadual de Maringá e professor do Departamento de Engenharia Química da FATEB – e-mail: <lui.pesch@fatebtb.edu.br>.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

No âmbito da Inteligência Artificial tem probabilidades de se encontrar com caminhos diferentes para resoluções de problemas. Uma abordagem simplificada e eficaz é conhecida pelo nome de lógica Fuzzy, que é uma modelagem onde as informações podem ser muito bem manuseadas e de maneira rigorosa tudo que é qualitativo, o que é incerto é manipulado, somado ao que entra de informações e agregados a alguns parâmetros de processo para que formem resultados apurados e estáveis. (GOMIDE; GUDWIN, 1994).

Um comparativo de probabilidades da lógica clássica e da Fuzzy, também considerada difusa ou nebulosa (devido a tradução do inglês), que em uma existem apenas quantificadores existenciais e universais e na outra a adição de variedades quantificadoras como pouco, vários, usualmente, pode ser encontrado. A primeira, o valor é numérico ou intervalo e na outra as probabilidades linguísticas podem ser empregadas. (KAUFMANN; GUPTA, 1985) Fuzzy é uma modelagem onde as informações podem ser muito bem manuseadas e de maneira rigorosa tudo que é qualitativo, o que é incerto é manipulado, somado ao que entra de informações e agregados a alguns parâmetros de processo para que formem resultados apurados e estáveis. (GOMIDE; GUDWIN, 1994).

A maneira com que a lógica Fuzzy atua, é na intensidade com que o objeto pertence ao conjunto Fuzzy. Em como as características das funções de pertinência são encaixadas e nas medidas subjetivas. Uma linguística que aceita uma variação de pertinência com intervalo [0;1] onde pode-se encaixar as verdades parciais, as faixas etárias mais propensas a um determinado grupo, uma temperatura que pende para o mais frio ou mais quente e que não precisa necessariamente ser arbitrada literalmente quente ou frio. Dessa forma, a Lógica Fuzzy permite aos sistemas computacionais inteligentes “raciocinar” considerando aspectos inerentes à incerteza e aos processos realísticos e torná-lo mais “humano”.

Quando a Lógica Fuzzy é aplicada, há um gerador de entradas para um mecanismo de inferência, que fara com que as ações sejam tomadas, conhecida por fuzzificação, que são funções de pertinências, conceitos, análise do problema e definições das variáveis. As inferências são o estágio onde analisa-se e define-se as regras. E o que gera valores reais é a defuzzificação, onde converte-se resultados em valores reais para a saída do sistema. (MAIA, 2007).

McNeil e Thro (1994) relacionam algumas características de sistemas onde a aplicação da Lógica Fuzzy (ao que também se chama fuzziness, em inglês) é necessária ou benéfica:

- sistemas complexos que são difíceis ou impossíveis de modelar;
- sistemas controlados por especialistas [humanos];
- sistemas com entradas e saídas complexas e/ou contínuas, como o caso utilizado no presente artigo;
- sistemas que se utilizam da observação humana como entradas ou como base para regras;
- sistemas que são naturalmente “vagos”, como os que envolvem ciências sociais e comportamentais, cuja descrição é extremamente complexa.

Com concepções pré-definidas sobre a lógica Fuzzy e utilizando da problemática onde há interesse de poder resolver assuntos atuais baseados em uma rede de dados já disponíveis, fez-se a interação de assuntos para poder prever os valores e o comportamento de uma torre de resfriamento.

Essas torres de resfriamento são equipamentos utilizados para resfriar água

industrial (condensadores de usinas de geração de potência, instalações de refrigeração, trocador de calor, entre outros), é uma coluna de transferência de massa e calor, desenvolvida na forma de proporcionar uma grande área de contato entre as correntes de água e ar.

O processo de resfriamento ocorre quando a água aquecida desce em forma de gotículas da parte superior da torre para a inferior, enquanto uma corrente de ar frio flui em contracorrente, onde no contato direto das correntes de água e ar ocorre a troca de calor produzindo o resfriamento da água.

Para início da aplicação da IA os dados precisam ser determinados, tratando-se da torre de resfriamento os valores necessários são de vazão e temperatura da água a ser resfriada, também é preciso estipular a geometria da torre e dimensões, além do tipo de enchimento e controle de vazão de ar.

Com a determinação dos dados citados anteriormente, utilizou-se o software Lazarus para compilação das equações e aplicação da lógica Fuzzy. Lazarus é um ambiente de desenvolvimento integrado capaz de compilar Free Pascal e Delphi, possui suporte para vários bancos de dados.

As equações pertencentes aos cálculos de balanço de massa, balanço de energia e análise termodinâmica do processo serão adaptadas e compiladas com base na linguagem Pascal e lógica Fuzzy como aplicação da IA na otimização de obtenção de dados.

Para o balanço de massa temos:

Equação 1: Balanço de massa

$$m_{ar,s} + m_{v,i-1} + m_{ag,i} = m_{ar,s} + m_{v,i} + m_{ag,i-1}$$

Onde:

$$m_{ar,s} = \text{vazão de ar seco ao longo da coluna (constante)}$$

$$m_{v,i-1}, m_{v,i} = \text{vazão de vapor de água contido no ar nas posições "i-1" e "i"}$$

na coluna, ou seja, entrando e saindo do volume de controle considerado.

$m_{ag,i}, m_{ag,i-1} =$ vazão de água líquida nas posições "i" e "i-1" na coluna, ou seja, entrando e saindo do volume de controle considerado.

Para o balanço de energia tem-se:

Equação 2: Balanço de energia

$$m_{ar,s}(h_{ar,s,i-1} + w_{i-1}h_{v,i-1}) + m_{ag,i}h_{ag,i} = m_{ar,s}(h_{ar,s,i} + w_i h_{v,i}) + m_{ag,i-1}h_{ag,i-1}$$

Para a análise termodinâmica é necessário avaliar o processo como um todo e aplicar as leis termodinâmicas pertencentes a cada etapa.

3. RESULTADOS

Para criação do algoritmo utilizou-se como base os dados a seguir (HIMMELBLAU, 2013):

Tabela 1: Dados para aplicação do algoritmo

Dado	Valor
Entalpia de A	29,93 Btu/lb H ₂ O
Entalpia de B	55,83 Btu/lb H ₂ O
Temperatura Água de Alimentação	120°F
Temperatura de referência	32°F
Temperatura Água de saída	90°F
Taxa de transferência de água para o ar	0,0199 lb H ₂ O/lb ar seco
Balanço de massa para ar seco	6,01 x 10 ⁵ lb ar seco

Fonte: Himmelblau, 2013.

Partindo das premissas de balanço de massa e energia, citados a cima, criou-se o escopo do algoritmo em linguagem Pascal por meio do programa Lazarus®. Para tal, declarou-se as variáveis que são envolvidas no processo e essenciais para cálculos; para então, poder ver a possível otimização. A Figura 1, é a interface com as variáveis do projeto:

Figura 1: Declaração de variáveis e constantes

```
program project_02;

var
  Tr:integer;
  Ta:integer;
  Ts:integer;

const
  Base = 8.30*10E6;
  Ft = 13.82;
  Lb = 1;
  A = 29.93;
  B = 55.83;
  C = 88;
  W = 0.805;
  Transf = 0.0199;
```

Fonte: Autor.

COSTA, Herbert R. N. **Aplicações de Técnicas de Inteligência Artificial em Processos de Fabricação de Vidro**. São Paulo – SP. 2006. Disponível em <<http://www.teses.usp.br>> Acessado em 15.04.2018.

GOMES, D. S. **Inteligência artificial: conceitos e aplicações**. Revista Olhar Científico. Faculdades Associadas de Ariquemes, v. 1, n. 2. 2010. Disponível em: <<file:///C:/Users/TECHNODRIVE/Downloads/49-148-1-PB.pdf>>. Acessado em 20.05.2018.

GOMIDE, F. A. C.; GUDWIN, R.R. **Modelagem, controle, sistemas e lógica Fuzzy**. UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas. SBA Controle & Automação, v. 4, n. 3. 1994. Disponível em: < <https://pdfs.semanticscholar.org> > Acessado em 30.05.2018.

GUNKEL, D. J. **Comunicação e inteligência artificial: novos desafios e oportunidades para a pesquisa em comunicação**. Galáxia: São Paulo, n. 24, p. 05-19. 2017. Disponível em: <<http://www.scielo.br> > Acessado em 21.05.2018.

HIMMELBLAU, D. M.; RIGGS, J. B. **Engenharia Química: Princípios e Cálculos**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

KAUFMANN, A.; GUPTA, M. **Introduction to Fuzzy Arithmetic**. Van Nostrand, NY. 1985.

MAIA, Leticia T. **Um Estudo Sobre Aplicação de Técnicas de Inteligência Artificial e Engenharia de Software à Construção de um Sistema de Supervisão e Controle**. Brasília – DF. 2007 Disponível em <<http://repositorio.unb.br>> Acessado em 08.04.2018.

MARRO, A. A.; et al. **Lógica Fuzzy: conceitos e aplicações**. DIMAp – Departamento de informática e matemática aplicada e UFRN – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal. 2010. Disponível em: < <http://aquilesburlamaqui.wdfiles.comf>> Acessado em 30.05.2018.

MOSER, G. **Integration of artificial intelligence and simulation in a comprehensive decision support system**. Simulation, USA, 47,6, pp.223-229. 1986.

NCE – Instituto Tércio Pacitti de Aplicações e Pesquisa Computacionais. **Visão geral sobre inteligência artificial**. UFRJ. Mestrado de informática aplicada à educação. 2018 Disponível em: <<http://www.nce.ufrj.br>> Acessado em 20.05.2018.

APLICAÇÃO DE ALGORITMOS NA DETERMINAÇÃO DE CIRCUITOS DE RECOLHA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Marciel Patrick Ortiz Alves¹, Jair da Silva² e Suellen Rodrigues da Silva³



RESUMO

O presente trabalho é apresentado para o desenvolvimento de uma aplicação informática suportado em Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que permitam determinar os circuitos ótimos de recolha de RSU, para a minimização do problema com relação à coleta. Onde foi utilizado o método do problema do caixeiro viajante (PCV), é um problema que tenta determinar a menor rota para percorrer um número pré-determinado de locais e retornar ao ponto inicial, em cima disso foi utilizado redes neurais, com a metodologia dos algoritmos genéticos onde modelos computacionais inspirados na evolução, que incorporam uma solução potencial para um problema específico numa estrutura semelhante a de um cromossomo e aplicam operadores de seleção e "cross-over" a essas estruturas de forma a preservar informações críticas relativas à solução do problema. Mostrar um método satisfatório, com visão de mostrar que o método será eficaz na otimização desses circuitos.

Palavras-chave: recolha; caixeiro; genéticos.

ABSTRACT

The present work is presented for the development of a computer application supported in Geographic Information Systems (GIS), which allows to determine the optimal circuits of MSW collection, to minimize the problem with regard to collection. Where the method of the traveling salesman problem (PCV) was used, it is a problem that tries to determine the smallest route to go through a predetermined number of locations and return to the initial point. genetic algorithms where evolution-driven computational models incorporate a potential solution to a specific problem in a chromosome-like structure and apply cross-over and selection operators to these structures in order to preserve critical information regarding the solution of the problem . Show a satisfactory method, with a view to show that the method will be effective in optimizing these circuits.

Key-words: collection; clerk; genetics.

1. INTRODUÇÃO

Uma Rede Neural Artificial é definida como um sistema de processamento de informações com características de aprendizado semelhantes às das Redes Neurais biológicas. Geralmente, os modelos de RNA's possuem inspiração biológica, mas são algoritmos computacionais que representam o aprendizado humano de maneira bastante simples, através dos elementos de processamento

¹ Acadêmico de Engenharia Química da FATEB – e-mail: p_marciel@hotmail.com;

² Acadêmica de Engenharia Química da FATEB – e-mail: jairsilva1208@gmail.com

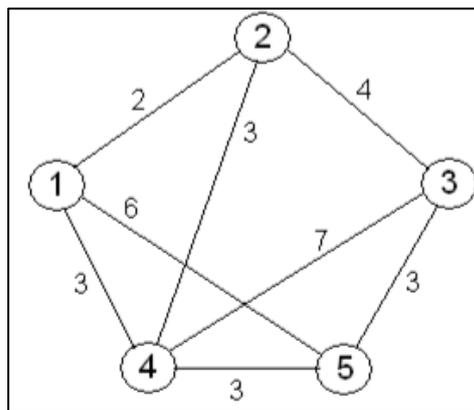
³ Acadêmica de Engenharia Química da FATEB – e-mail: suellen-rodrigues.silva@hotmail.com

chamados de neurônios (FAUSETT, 1994). A implementação computacional destas redes não é complexa, e os resultados de aplicações destas redes, que podem ser encontrados em diversos artigos na literatura, mostram que se tratam de técnicas eficientes.

Problema do Caixeiro Viajante (PCV), é um problema que tenta determinar a menor rota para percorrer um número pré-determinado de locais e retornar ao ponto inicial.

Inspirado na necessidade dos vendedores em realizar entregas em diversos locais (as cidades) percorrendo o menor caminho possível, reduzindo o tempo necessário para a viagem e os possíveis custos com transporte e combustível. O método considera n cidades, onde o objetivo deste problema é iniciar a rota de uma cidade, visitando as demais cidades apenas uma vez, retornando à primeira cidade da rota (MURTY, 1985).

Figura 1- Exemplo de rotas caixeiro viajante



Fonte: O autor

Devido ao grande número de rotas possíveis para este problema, $(n - 1)!$, sua solução torna-se difícil, e este problema tem sido utilizado nos últimos anos como base de comparação para melhorias em diversas técnicas de otimização, tais como Algoritmos Genéticos, Têmpera Simulada, Busca Tabu, Busca Local, Colônia de formigas, Redes Neurais, dentre outras.

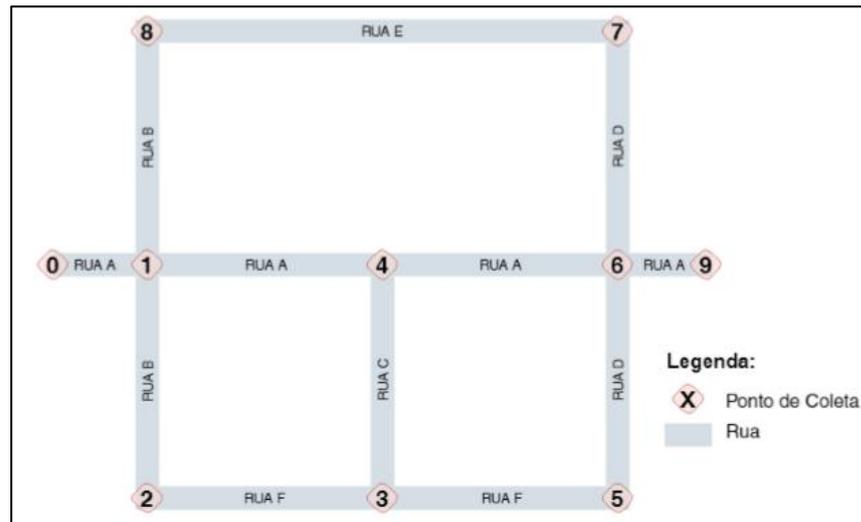
2. METODOLOGIA

Foi criado um suposto bairro, com 3 quadras e 9 pontos de coletas de resíduos, para iniciarmos o problema e começarmos a trabalhar com o algoritmo, foi utilizado o programa MatLab.

Para as supostas coletas foi impostas as seguintes restrições:

- O caminho sempre se iniciará e terminará no ponto zero (centro de distribuição/coleta);
- O agente pode passar em um local mais de uma vez, embora só vá fazer a coleta uma única vez. Por exemplo, para sair do ponto 1 ao ponto 7, ele passará pelo ponto 8 mas não fará a coleta do mesmo.

Figura 2-Exemplo bairro



Fonte: O autor

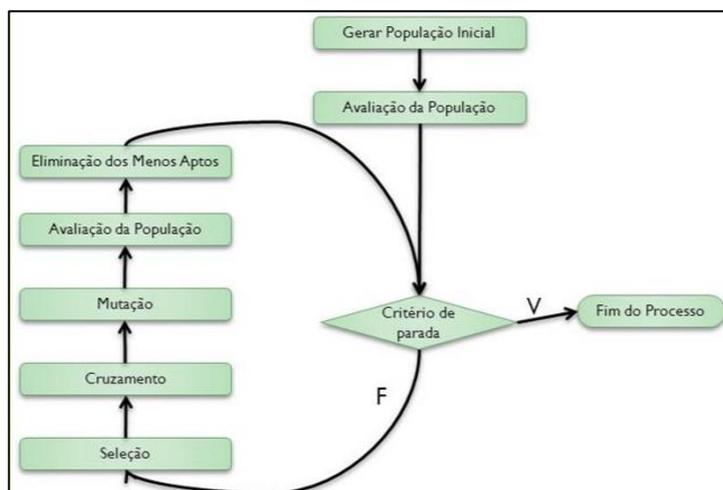
3. DESENVOLVIMENTO

Algoritmo genético são uma família de modelos computacionais inspirados na evolução, que incorporam uma solução potencial para um problema específico numa estrutura semelhante a de um cromossomo e aplicam operadores de seleção e "cross-over" a essas estruturas de forma a preservar informações críticas relativas à solução do problema. Normalmente os AG's são vistos como:

- Otimizadores de funções, embora a quantidade de problemas para o qual os eles se aplicam seja bastante abrangente.
- Fazem busca sobre uma população de pontos e não sobre um único ponto;
- Fazem uso de descrições genéricas do que se quer ver presente na solução, através de funções de fitness (funções-objetivo);
- Utilizam regras de transição probabilísticas, e não regras determinísticas.

Princípio de funcionamento do algoritmo genético:

Figura 3- Princípio de funcionamento AG



Fonte: O autor

- Cromossomo ou indivíduo será o conjunto de pontos de coleta. Ex: 01234567890, 018765321490, 01234657890, etc.

- Como todos os cromossomos irão iniciar e terminar no ponto “0”, o mesmo será omitido, mas sua distância será computada no cálculo do fitness. Assim, os cromossomos do exemplo acima seriam: 123456789, 1876532149, 123465789;

- O operador de crossover deve ser projetado de modo que o filho (offspring) não contenha locais repetidos. Ex: utilizando o crossover de ponto nos pais 123456789 e 987654321 serão gerados dois filhos inválidos: 123454321 e 678998765. Uma possível solução é fazer o crossover gene por gene, ignorando os repetidos. Nesse caso, resultaria em dois filhos gêmeos 192837465, onde somente um será armazenado.

Matriz de distancias:

Figura 4- Distâncias entre pontos de coleta

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0,0	12,5	42,5	72,5	42,5	102,5	72,5	107,5	47,5	85,0
1	12,5	0,0	30,0	60,0	30,0	90,0	60,0	95,0	35,0	72,5
2	42,5	30,0	0,0	30,0	60,0	60,0	90,0	125,0	65,0	102,5
3	72,5	60,0	30,0	0,0	30,0	30,0	60,0	95,0	95,0	72,5
4	42,5	30,0	60,0	30,0	0,0	60,0	30,0	65,0	65,0	42,5
5	102,5	90,0	60,0	30,0	60,0	0,0	30,0	65,0	125,0	42,5
6	72,5	60,0	90,0	60,0	30,0	30,0	0,0	35,0	95,0	12,5
7	107,5	95,0	125,0	95,0	65,0	65,0	35,0	0,0	60,0	47,5
8	47,5	35,0	65,0	95,0	65,0	125,0	95,0	60,0	0,0	107,5
9	85,0	72,5	102,5	72,5	42,5	42,5	12,5	47,5	107,5	0,0

Fonte: O autor

Após ser traçado as distancias entre os pontos de coleta, foi utilizado o software MATLAB, onde foi feito um algoritmo para achar a melhor rota, sendo a menor distância percorrida entre todos os pontos.

Após o desenvolvimento do algoritmo no software e ter feito o cálculo da rota por mais de 100 vezes, chegou-se ao resultado de menor distância, sendo 360 metros, passando pelos pontos [4,3,5,6,9,7,8,2,1].

Figura 5- Resultado do algoritmo

```
Command Window
Iniciando geração 39...
Iniciando geração 40...
Iniciando geração 41...
Iniciando geração 42...
Iniciando geração 43...
Iniciando geração 44...
Iniciando geração 45...
Iniciando geração 46...
Iniciando geração 47...
Iniciando geração 48...
Iniciando geração 49...
Iniciando geração 50...
Atingiu critério de parada de número máximo de gerações
Melhor Fitness: 0.00277778 - Menor distância: 360 m - Indivíduo: [4 3 5 6 9 7 8 2 1]
```

Fonte: O autor

4. CONCLUSÃO

Após os resultados no software MATLAB, concluímos que algoritmos genéticos é uma excelente ferramenta, junto ao caixeiro viajante para traçar rotas para coleta de resíduos nos bairros, estipulando apenas 9 pontos, onde fizemos apenas uma simulação, um modelo mais simplório de pontos de coletas, mas pode ser utilizado para bairros existentes nas cidades, variando apenas os pontos de cada bairro e as distancias dos pontos de coleta.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao orientador, professor Ivo Neitzel, onde nos deu total suporte para o trabalho, também o coordenador da TI da Faculdade FATEB, Mestrando Fernando, onde nos auxiliou na programação do algoritmo, não medindo esforços para ajudar.

REFERÊNCIAS

LOPES, Joaquim Oliveira. Aplicação de Algoritmos Genéticos na Determinação de Circuitos Óptimos de Recolha de Resíduos Sólidos Urbanos, 2008. Departamento de Engenharia Química, FEUP. Disponível em: < <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/59350/2/Texto%20integral.pdf>>. Acessado em 14 de maio de 2018

ANDRADE, Eduardo Leopoldino de. Introdução à pesquisa operacional: métodos e modelos para análise de decisões. 3. ed.

CAIXEIRO. Disponível em: < <http://www.mat.ufrgs.br/~portosil/caixeiro.html> >. Acesso em 15 agosto de 2018.

BEBIDA DE KEFIR: NOVA ALTERNATIVA DE PRODUTO FUNCIONAL



Kawane da Silva Mariano¹ e Fernanda de Oliveira²

RESUMO

Os alimentos funcionais têm se apresentado como novas alternativas nas indústrias de alimentos, consequência de estudos científicos das relações existentes entre alimentos e saúde e, sobretudo, do interesse do consumidor por novas alternativas que auxiliam em uma vida mais saudável. O kefir é uma bebida produzida a partir da fermentação alcoólica e láctica dos grãos de kefir. A bebida é rica em nutrientes, possui indicações terapêuticas, além de vitaminas do complexo B que auxiliam no processo digestivo. A bebida à base de kefir de água e frutas além do apelo sensorial e alegações funcionais que dizem respeito à saúde do consumidor possui um baixo custo de produção. Diante desse contexto, este trabalho tem como objetivo desenvolver uma bebida funcional, elaborada a base de kefir de água, saborizada com suco de laranja e limão. A bebida será produzida com kefir de água, suco de laranja orgânico, suco de limão orgânico e açúcar mascavo. A bebida será caracterizada através das análises de pH, acidez titulável total, teor de sólidos e determinação de açúcares redutores totais. Além disso, também será realizada uma análise sensorial do produto elaborado.

Palavras-chave: Kefir; Bebida funcional; Kefir de água.

ABSTRACT

Functional foods have been presented as new alternatives in the food industry, as a consequence of scientific studies of the relationship between food and health and, above all, of the consumer's interest in new alternatives that help in a healthier life. Kefir is a beverage produced from the alcoholic and lactic fermentation of kefir grains. The beverage is rich in nutrients, has therapeutic indications, and B vitamins that aid in the digestive process. The kefir-based drink of water and fruit in addition to sensory appeal and functional claims concerning consumer health has a low cost of production. In view of this context, this work aims to develop a functional drink, elaborated based on kefir of water, flavored with orange and lemon juice. The drink will be produced with kefir of water, organic orange juice, organic lemon juice and brown sugar. The beverage will be characterized by pH, total titratable acidity, solids content and determination of total reducing sugars. In addition, a sensory analysis of the product will also be carried out.

Key-words: Kefir; Functional drink; water kefir.

1. INTRODUÇÃO

Inúmeros trabalhos tem demonstrado aumento de consumo de bebidas energéticas em todas as faixas etárias, associado ao aumento exponencial da obesidade. O excesso de consumo de carboidratos, gorduras e açúcares associados ao sedentarismo, determina prevalência em pessoas com riscos de

¹ Acadêmica do curso de Engenharia Química da FATEB – e-mail: <kawanemariano@hotmail.com>.

² Mestranda em Engenharia Mecânica, professora do Departamento de Engenharia Química da FATEB – e-mail: <fernandadeoliveira@ymail.com >.

enfermidades, como elevado excesso de peso, aumento do índice de diabetes, colesterol, pressão arterial inadequada, concentrações de lipídios acima do esperado, entre outras. Estes fatores de risco estão associados também ao aumento das doenças cardiovasculares, uma doença que emprega grandes índices de morbidade e mortalidade. É extremamente difícil estabelecer um padrão claro de causa efeito desses alimentos na saúde humana (FISBERG, AMÂNCIO E LOTTENBERG, 2002).

O consumo de alimentos funcionais vem crescendo juntamente com a conscientização de pessoas que desejam uma qualidade de vida melhor.

A bebida kefir de água, resultante da fermentação do açúcar pela microbiota contida em grãos de kefir, contém vitaminas, minerais e aminoácidos essenciais e pode ser considerada um alimento funcional oferecendo vários benefícios à saúde, além do valor nutritivo inerente à sua composição química, desempenhando um papel potencialmente benéfico na redução do risco de doenças crônicas degenerativas do consumidor (MORAES E COLLA, 2006).

De acordo com Montanuci (2010), os grãos de kefir contêm uma complexa microbiota em simbiose, sendo uma mistura de bactérias ácido lácticas (*Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc*, e *Streptococcus*), bactérias ácido acéticas (*Acetobacter*) e leveduras (*Kluyveromyces*, *Saccharomyces* e *Torula*) (apud PIERMARIA, CANAL, ABRAHAM, 2007).

Como alternativa para novas opções de bebida funcional, visando o bem estar e a saúde, este trabalho tem por objetivo produzir uma bebida funcional fermentada através do kefir de água, levemente gaseificada.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os grãos do kefir, utilizados neste estudo, foram obtidos através de doação provenientes da cidade de Curiúva–PR.

As primeiras 48 horas de fermentação são de extrema importância para a saúde da colônia, devido aos riscos de contaminações. Portanto, é indicado fazer o descarte das duas primeiras amostras fermentadas nas 48h.

2.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados na produção da bebida funcional foram: água potável, açúcar mascavo, recipiente de vidro, medidores de alimentos, colher de plástico, garrafa de 500 mL de plástico e os grãos de kefir.

2.2 MÉTODOS

A Figura 1 apresenta o fluxograma que será utilizado na fermentação.

Figura 1- Fluxograma de fermentação.



Para produção da bebida funcional, serão utilizados os sucos de laranja e limão. A partir disso, serão realizados procedimentos de esterilização de todo material com álcool 70%, tais como, colheres, recipientes de armazenamento e medidores de alimento. A análise para a verificação da água a ser utilizada na fermentação será de pH, para especificar a acidez ou basicidade da solução aquosa. Para as análises da bebida fermentada serão realizadas análises de pH, acidez titulável total através de titulação com HCl e BaCl em decantação por aproximadamente 1h, teor de sólidos utilizando estufa a 105°C realizando a pesagem do conteúdo analisado e determinação de açúcares redutores totais utilizando um espectrofotômetro, objetivando a atender todo tipo de público.

Com isso, será realizada uma análise sensorial das bebidas desenvolvidas, ofertada pessoas de ambos os sexos e diferentes idades. Os avaliadores responderam às questões representadas na Figura 2. Para verificar-se a aceitabilidade do produto, será utilizada uma escala hedônica estruturada de 10 pontos, ancorada nos extremos de 0 (reprovada) a 10 (ótima). Com relação à intenção de compra e consumo, a estruturado como: sim, não e talvez.

Figura 2- Modelo de análise sensorial das bebidas de Laranja e Limão.

Sexo: () Feminino () Masculino Idade:

Bebida de Laranja 

De 0 a 10 o quanto você gostou dessa bebida?

Você compraria esse produto?
() Sim () Não () Talvez

Bebida de Limão 

De 0 a 10 o quanto você gostou dessa bebida?

Você compraria esse produto?
() Sim () Não () Talvez

Fonte- O autor.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1 Efeitos Benéficos Atribuídos ao Consumo de Alimentos Probióticos

Os probióticos são microrganismos vivos que podem ser agregados como suplementos na dieta, de forma benéfica para o desenvolvimento da microbiota intestinal. São também conhecidos como bioterapêuticos, bioprotetores e bioprotetores e são utilizados para prevenir as infecções entéricas e gastrointestinais (REIG E ANESTO, 2008).

Os benefícios à saúde do hospedeiro atribuídos à ingestão de culturas probióticas são: controle da microbiota intestinal, estabilização da microbiota intestinal após o uso de antibióticos, promoção da resistência gastrintestinal a colonização por patógenos, redução da concentração dos ácidos acético e lático, de bacteriocinas e outros compostos antimicrobianos, estimulação do sistema imune, alívio da constipação e aumento da absorção de minerais e vitaminas (SAAD, 2006).

O interesse em tais espécies probióticas tem aumentado nos últimos anos, o conhecimento sobre os microrganismos usados no processo de fermentação tem aumentado as possibilidades de adicionar bactérias benéficas a produtos

alimentares (FARNWORTH, 2006).

3.2 Grãos de Kefir

O *Lactobacillus kefir* ou kefir é uma bebida produzida a partir da fermentação alcoólica e ácido-lática dos grãos de kefir, podendo ser cultivados em meio ao leite ou em água potável. O kefir é rico em nutrientes e, por isso, pode ser consumido por qualquer pessoa. Ele possui indicações terapêuticas, além de vitaminas do complexo B que auxiliam no processo digestivo.

Os grãos de kefir são semelhantes a cristais gelatinosos, translúcidos, podendo variar de tamanho entre 3 a 35 mm de diâmetro (IRIGOYEN ET AL., 2005). São constituídos por leveduras fermentadoras de lactose (*Kluyveromyces marxianus*) e leveduras não fermentadoras de lactose (*Saccharomyces omnisporus*, *Saccharomyces cerevisiae* e *Saccharomyces exiguus*), *Lactobacillus casei*, *Bifidobacterium sp* e *Streptococcus salivarius subsp thermophilus* (DOMINGOS, 2010).

O kefir de água é cultivado em meio à água potável, alimentado de açúcar que é fonte de carbono para o seu processo fermentativo e em temperatura ambiente, como apresentados na Figura 3. O aroma do kefir é resultado da atividade metabólica simbiótica de várias espécies de bactérias e de leveduras que se encontram naturalmente nos grãos de kefir (WITTHUHN, SCHOEMAN E BRITZ, 2005).

Os grãos do kefir multiplicam-se conforme são cultivados. Inicialmente, ocorre um aumento do grão e, posteriormente, são subdivididos em novos grãos que mantêm o mesmo equilíbrio microbiológico presente nos grãos de origem. Geralmente, o crescimento diário dos grãos de água são em média cerca de 45%, porém, esse crescimento depende de diversos fatores, como por exemplo, quando não são lavados os grãos desenvolvem com mais rapidez; quando são peneirados sem fricções na peneira e quando são agitados periodicamente durante a fermentação (FARNWORTH, 2006). Normalmente, em produções caseiras os grãos excedentes são doados ou congelados para novos possíveis cultivos.

Figura 3- Grãos de Kefir e o seu meio de cultivo.



Fonte- O autor.

REFERÊNCIAS

DOMINGOS, L. D. Estabilidade E Qualidade De Iogurte Adicionado De Luteína E

Validação De Método Para Determinação De Riboflavina Em Iogurte. **Universidade Estadual De Campinas**, v. 4, n. 3, p. 295–301, 2010.

FARNWORTH, E. Kefir—a complex probiotic. **Food Science and Technology Bulletin: Fu**, p. 1–17, 2006.

FISBERG, M.; AMÂNCIO, O. M. S.; LOTTENBERG, A. M. P. O uso de refrigerantes e a saúde humana. **Revista Pediatria Moderna**, v. 38, n. 6, p. 261–271, 2002.

IRIGOYEN, A. *et al.* Microbiological, physicochemical, and sensory characteristics of kefir during storage. **Food Chemistry**, v. 90, n. 4, p. 613–620, 2005.

MONTANUCI, F. D. Centro de Ciência Agrárias Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos. 2010.

MORAES, F. P.; COLLA, L. M. Alimentos Funcionais E Nutraceuticos: Definições, Legislação E Benefícios À Saúde. **Revista Eletrônica de Farmácia**, v. 3, n. 2, p. 14, 2006.

REIG, A. D. L. C.; ANESTO, J. Prebióticos y probióticos, una relación beneficiosa. **Revista Cubana Aliment Nutr**, v. 16, n. 1, p. 63–68, 2008.

SAAD, S. M. I. Probióticos e prebióticos: o estado da arte. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 42, n. 1, p. 1–16, 2006.

WITTHUHN, R. C.; SCHOEMAN, T.; BRITZ, T. J. Characterisation of the microbial population at different stages of Kefir production and Kefir grain mass cultivation. **International Dairy Journal**, v. 15, n. 4, p. 383–389, 2005.

COMPARAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE DUAS CELULOSES FLUFF COMERCIAIS



Marlene Guemra Borriero¹, Marcelo Coelho dos Santos Muguet Soares²

RESUMO

Este artigo apresenta um estudo sobre as principais indústrias de celulose fluff do mundo, visto que as maiores empresas produtoras se encontram nos Estados Unidos. Serão analisadas amostras de celulose fluff de uma indústria localizada nos Estados Unidos, comparando com uma de menor produção localizada na Argentina, buscando propriedades diferenciadas para o mercado brasileiro.

Existe uma infinidade de produtos absorventes, dentre eles, encontram-se os produtos higiênico-sanitários fabricados principalmente com celulosas do tipo fluff (celulose, pasta ou polpa fluff ou fofa).

Palavras-chave: Celulose fluff; Indústrias; Produtos absorventes.

ABSTRACT

This article presents a study on the main fluff pulp industries in the world, since the largest producing companies are in the United States. Fluff pulp samples from an industry located in the United States will be analyzed, comparing with one of the lowest production located in Argentina, seeking different properties for the Brazilian market.

There are a multitude of absorbent products, among them are hygienic-sanitary products manufactured mainly with fluff-type celluloses (cellulose, pulp or fluff or fluff pulp).

Keywords: Cellulose fluff; Industries; Absorbent products.

1. INTRODUÇÃO

Existe uma infinidade de produtos absorventes produzidos no mundo para as mais diferentes utilizações, diferindo os mesmos na constituição, matérias-primas utilizadas, além das distintas finalidades e aplicações específicas que vão consequentemente influenciar em suas capacidades absorptivas. Dentre eles, encontram-se os produtos higiênico-sanitários fabricados principalmente com celulosas do tipo fluff (celulose, pasta ou polpa fluff ou fofa). (VASCONCELOS, 2012). A celulose fluff geralmente é fabricada a partir da madeira de pinus (fibra longa), mas também pode ser fabricada com eucalipto (fibra curta), através de uma alteração do processo kraft (FOELKEL, 2009). Devido ao processo de fabricação da polpa fluff normalmente ser químico, ela é vendida na cor branca. Na fabricação das fraldas, é recomendado que as fibras sejam longas para que o líquido seja absorvido com rapidez e segurança e ajude a conter o “flock gel” que é um polímero superabsorvente. Além disso, as fibras longas também têm naturalmente canais que ajudam na absorção dos líquidos corporais. (FOELKEL, 2010)

¹ Acadêmica do curso de Engenharia Química da FATEB – e-mail: <leninha_guenraborriero@hotmail.com>.

² Professor orientador – e-mail: <marcelomuguet@gmail.com>.

A celulose fluff tem um processo de polpação comum, sendo sua principal diferença o acabamento. Diferente da celulose comum que é cortada em fardos, a celulose fluff geralmente é rebobinada em bobinas, para ser desenrolada e desfibrada no fabricante de produtos absorventes. Como na celulose comum, sua entrada e saída da secadora de celulose são normais, sendo as principais variáveis nesta etapa as de configurações específicas de cada máquina de secagem a depender de fatores que atendam a necessidade de processo. (VIDAL e HORA, 2013).

Assim como no consumo de papéis, na celulose fluff são os mercados emergentes que vêm se destacando no crescimento. Segundo dados da RISI, de 2000 a 2012 o consumo global de fluff foi de 3,6% (desempenho somente inferior ao da celulose solúvel e de BHKP de mercado), dos quais 0,9% nos mercados maduros e 7,6% nos emergentes. Ainda de acordo com a consultoria, quanto à população global, vivem nos emergentes 92% dos bebês em idade de usar fraldas, 88% das mulheres com idade entre 15 e 49 anos e 71% dos idosos acima de 65 anos. Portanto, a tendência esperada é que os emergentes continuem puxando o consumo global de fluff no futuro. Este trabalho terá como objetivo analisar amostras de celulose de fibra longa fluff comerciais de países distintos.

2. METODOLOGIA

2.1 Materiais

2.1.1 Celulose Fluff

Serão analisadas três amostras de celulose fluff (Kraft branqueada de fibra longa - pínus) da indústria A procedente dos Estados Unidos e de forma análoga será analisada três amostras celulose fluff (Kraft branqueada de fibra longa - pínus) da indústria B localizada na Argentina.

Por motivos de sigilo empresarial, a indústria que cedeu as amostras e os equipamentos utilizados nesse trabalho será suprimida.

2.2 Métodos

2.2.2 Padronização e Moagem das Folhas de Celulose Fluff

As seis folhas serão padronizadas com as medidas de 17 cm (largura) e 25 cm (comprimento). Cada amostra é pesada antes da moagem e em seguida inserida a amostra individualmente no moinho fluff. A energia gasta após a moagem é mostrada no painel automatizado do moinho. A sobra da amostra que não foi moída é pesada para os cálculos devidos.

2.2.3 Medições da Quantidade Nits/Knots

Após sair do moinho fluff, uma porção de 10 g da celulose moída é pesada e inserida no equipamento Nit Counter, utilizando uma peneira de 16 mesh. O tempo de operação será estimado de 10 minutos. A pressão é regulada para 80 psi durante o ensaio. A quantidade de Nits/Knot retida na peneira primária (superior) será pesada como knots e na peneira secundária (aceite). A diferença do total de polpa e o retido são os finos Nits.

2.2.4 Caracterizações da Morfologia das Fibras

Para a caracterização da morfologia das fibras, uma pequena porção de cada amostra é rasgada em pequenos pedaços e colocada no desagregador com água. A amostra desagregada é analisada através do analisador de imagens FS5 (Valmet). Os testes que serão realizados pelo equipamento são: o comprimento, a largura, o índice de curvatura, “coarseness”, fibrilação, e teor de finos.

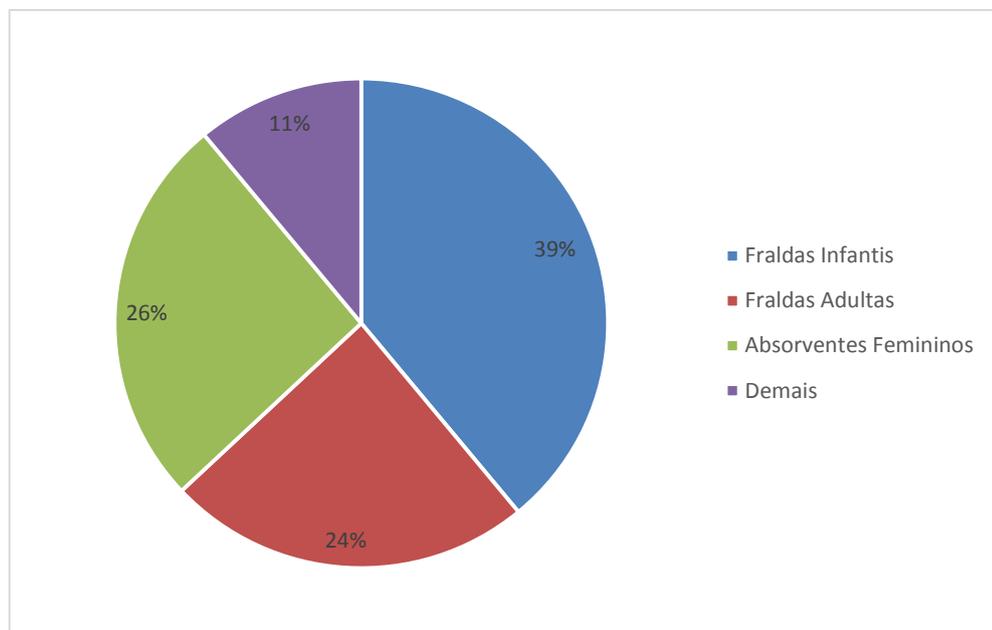
2.2.5 Testes De Absorção

Para realizar o teste de absorção, a amostra moída é transformada em um corpo de prova para então ser analisada no Medidor de absorção fluff. Sua massa é anotada antes e após a absorção, bem como o tempo de absorção e o volume específico.

3. DESENVOLVIMENTO

De acordo com Phillips (2012), 63% das vendas de celulose fluff em 2011 foram destinadas à fabricação de fraldas (39% infantis e 24% adultas) e 26% a absorventes íntimos, com a parcela restante sendo utilizada na fabricação de produtos porosos de limpeza e conforto, bem como demais utilizações.

Figura 1- Demanda global de fluff em 2011, por produto final

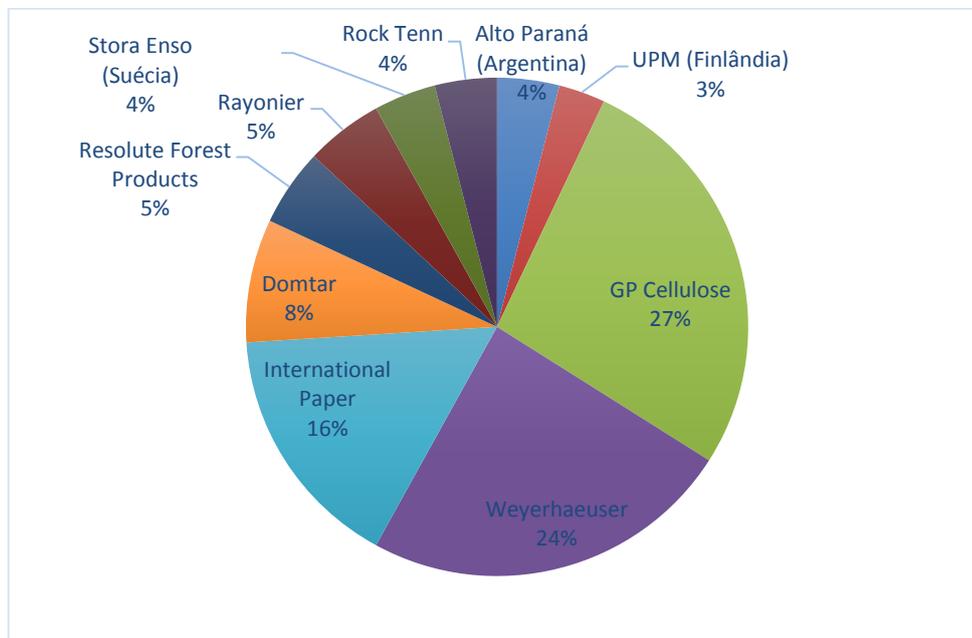


Fonte: (Adaptado de Phillips, 2012).

As maiores empresas produtoras de celulose "fluff" do mundo estão localizadas nos Estados Unidos, sendo pela ordem: Georgia-Pacific, Weyerhaeuser, International Paper, Rayonier e Resolute Forest Products. Todas possuem fábricas na região sudeste dos EUA (estados do Alabama, Flórida, Geórgia e Carolina do Sul), valendo-se de plantações ou bosques naturais de pinus para fornecimento de

madeira. Os outros grandes fabricantes são europeus, canadenses e argentinos: Domtar Stora Enso, Rock Tenn e Alto Paraná (VASCONCELOS 2012).

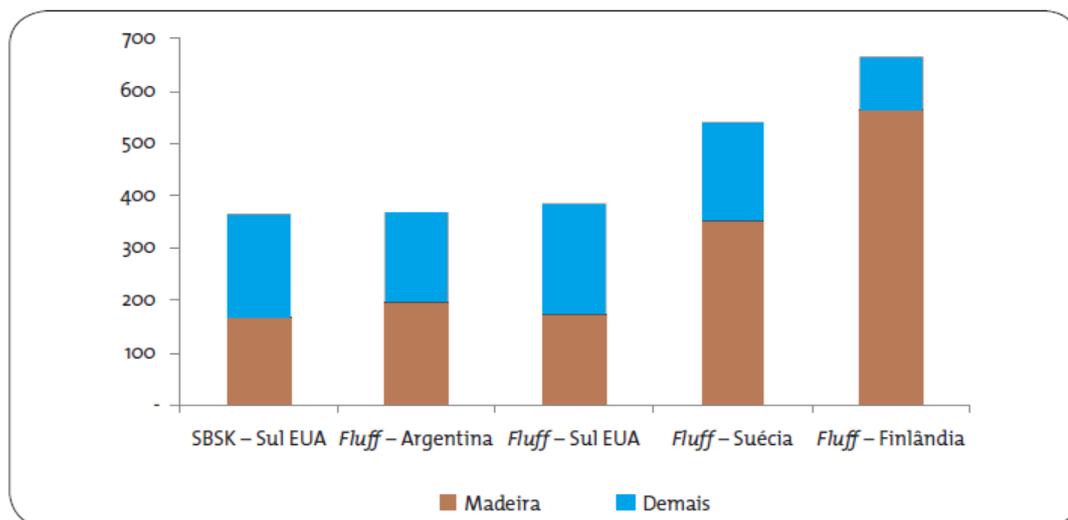
Figura 2- Capacidade instalada de fluff, quarto trimestre de 2012



Fonte: (Adaptado de RISI, 2012).

Em relação às demais regiões produtoras, a Argentina aparece com valores de produção pouco abaixo dos Estados Unidos, ao passo que as produtoras europeias se mostram pouco competitivas, sobretudo pelo alto custo da madeira.

Figura 3- Custo caixa, quarto trimestre de 2012 (em US\$/t)



Fonte: (Adaptado de Vidal e Hora (2013) com base em RISI, (2012).

4. CONCLUSÃO

A celulose fluff apresenta melhores perspectivas de taxas de crescimento para a demanda nas indústrias de celulose e papel no aspecto global, sobretudo em função do aumento e envelhecimento da população mundial, elevação da renda mundial, especialmente em países emergentes, aumento das cotações do petróleo pressionando os custos de polímeros superabsorventes. Do lado negativo, o tamanho do mercado inibe grandes expansões de capacidade (em volume), ao mesmo tempo em que os polímeros superabsorventes representam uma importante ameaça à demanda. Devido ao fato de ambas as amostras que serão estudadas serem de fábricas de excelência operacional, espera-se que as propriedades também sejam de excelência.

REFERÊNCIAS

- ARAUCO. **Resumo público do manejo florestal**. Disponível em: <http://www.altoparana.com/_file/file_3305_16448-rp_florestal_arapoti_2016_marco_final.pdf>. Acesso em 25 de setembro de 2018.
- CARDOSO, G. S. 2ª Edição (revisada e atualizada). **Fabricação de Celulose**. Curitiba. 2009. 350p.
- CARDOSO, M. T. et al. **Propriedades físicas e mecânicas de papéis reciclados utilizados para fabricação de tubetes**. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 22, n. 2, p. 403-411, abr.-jun., 2012. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/pdf/534/53423427019.pdf>>. Acesso em 20 de agosto de 2018.
- FOELKEL, E. **Fraldas e absorventes íntimos descartáveis produzidos com fibras celulósicas do pínus**. PinusLetter, n. 25, 2010a. Disponível em: <http://www.celso-foelkel.com.br/Pinus_25.html>. Acesso em: 02 de setembro de 2018.
- FOELKEL, E. **Polpas ou Celuloses Tipo "Fluff "**. Disponível em: http://www.celso-foelkel.com.br/pinus_26.html. Acesso em 23 de setembro de 2018.
- FRANK-PTI. Desagregador de fibra de bancada. Disponível em: <<https://www.frankpti.com/content/documents/en/14.pdf>>. Acesso em 24 de setembro de 2018.
- LUND, K.; SJÖSTRÖM, K.; HARALD, B. **Alkali Extraction of Kraft Pulp Fibers: Influence on Fiber and Fluff Pulp Properties**. Chalmers University of Technology, Gothenburg SWEDEN, 2012.
- Marketing technology service. **Nit Counter MTS**. Disponível em: <http://www.marketingtechnologyservice.com/testing/nit_counter.php> . Acesso em 24 de setembro de 2018.
- MENEGAZZO, M. L. **Características morfológicas de celuloses branqueadas de pinus e eucalyptus em analisador óptico automático de fibras**. Disponível em:

<<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/99750>> . Acesso em 05 de setembro de 2018.

MUNSON MACHINERY. **Moinho de martelo**. Disponível em:<<http://spaceprom.ru/brands/3315>> . Acesso em 23 de setembro de 2018.

OLIVEIRA, J. A. **Verificação da qualidade da mistura de fibras longa e curta na fabricação de celulose fluff**. Telêmaco Borba, 2017. 70p.

PAULAPURO, H.; GULLICKSEN, J. **Pulp and paper testing**. FapetOy, Finland.1999

PHILLIPS, R. **Future Prospects for USA Pulp and Paper Technology**.

RISI. Disponível em:<" <http://www.risiinfo.com/>>. Acesso em: 28 de agosto de 2018.

SHIMIZU, J. Y et al. **Cultivo de pinus**. Disponível em:<https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistema%20de%20producao%20de%20fibras%20de%20celulose%20e%20papel&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_76293187_sistemaProducaoId=3715&p_r_p_-996514994_topicId=3229>. Acesso em 27 de setembro de 2018.

STEIN, F. R. **Modelagem de produção industrial de celulose kraft com modelos aditivos generalizados e redes neurais**.

Disponível em:<<http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/5899>>. Acesso em 26 de agosto de 2018.

Student TAPPI Summit, Carolina do Norte, 2012.

The disposable diaper industry source – Disponível em: <www.disposablediaper.net>. Acesso em 30 de setembro de 2018.

VALMET. **Analisador de imagem de fibra Valmet**. Disponível em: <<https://www.valmet.com/automation-solutions/analyzers-and-measurements/analyzers/fiber-image-analyzer-for-external-fibrillation-fiber-length-measurement/>> . Acesso em 23 de setembro de 2018.

VASCONCELOS, F. S. R. **Celulose Fluff**. Ortigueira. 2012. 28p

VIDAL, A. C. HORA, A. **Celulose de fibra longa: uma oportunidade para a indústria brasileira? Disponível**

em:<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/4602/1/BS%2039%20celulose%20de%20fibra%20longa_P.pdf> . Acesso em 28 de setembro de 2018.



GERAÇÃO DE HIDROGÊNIO ATRAVÉS DA ELETRÓLISE DA ÁGUA

Fernando Machado de Melo¹ Gabriel de Oliveira Kum² Luciano Rodrigues Simões³
Flávia Sayuri Arakawa⁴

RESUMO

Devido ao aumento da demanda energética e dos problemas ambientais causados pela utilização de combustíveis fósseis, há a necessidade de buscar alternativas energéticas, entre elas o uso do hidrogênio como um recurso energético. O hidrogênio se torna uma opção muito promissora, porque em um processo eletrolítico ele pode ser convertido em eletricidade e reduzir as emissões de carbono. O presente estudo teve como objetivo produzir hidrogênio através da eletrólise da água em um módulo experimental concebido localmente. Buscou-se entender as variáveis inerentes ao processo de eletrólise como concentração da solução eletrolítica, pH, temperatura, pressão e vazão/produção de hidrogênio, adquirindo uma noção mais precisa e conhecimentos práticos do processo de eletrólise. Os resultados experimentais mostraram que quanto maior a corrente aplicada ao processo maior é a geração de hidrogênio. O presente estudo dá subsídios para que seja dimensionado um gerador de hidrogênio a partir de uma célula eletrolítica.

Palavras-chave: Energia; Eletrólise; Hidrogênio.

ABSTRACT

Due to increased energy demand and environmental problems caused by the use of fossil fuels, There is the need to seek energy alternatives, among them the use of hydrogen as an energy resource. Hydrogen becomes a very promising option Because in an electrolytic process it can be converted into electricity and reduce carbon emissions. The present study was intended to produce hydrogen through the electrolysis of water in a locally designed experimental module. It was sought to understand the variables inherent in the process of electrolysis as concentration of the electrolytic solution, pH, temperature, pressure and Flow/hydrogen production, Acquiring a more precise notion and practical knowledge of the electrolysis Process. The experimental results showed that the higher the current applied to the larger process is the generation of Hydrogen. This study gives subsidies to scale a hydrogen generator from a electrolytic Cell.

Key-words: Energy; Electrolysis; Hydrogen.

1. INTRODUÇÃO

A maioria das fontes de energia mundial hoje, é proveniente de combustíveis fósseis, uma energia finita. A geração de energia é uma das principais causas de degradação ambiental. A preservação do ambiente é essencial para uma nação e para seu desenvolvimento econômico, as energias renováveis ajudam a conservar o

¹ Acadêmico do curso de Engenharia Química da FATEB – e-mail: <fmelo@gmail.com.>.

² Acadêmico do curso de Engenharia Mecânica da FATEB – e-mail: <gabrielkumtb@gmail.com.>.

³ Acadêmico do curso de Engenharia Civil da FATEB – e-mail: <lucianorodriguessimoes@gmail.com.>.

⁴ Doutora em Engenharia Química pela UEM e Docente na FATEB – e-mail: <flaviasayuri@gmail.com.>.

meio ambiente do planeta (PIVA,2010). Buscar uma fonte de energia limpa e sustentável com possibilidade clara de alcançar a um nível de desenvolvimento mundial tem sido a pauta hoje das grandes nações. Uma das principais fontes de emissões globais de dióxido de carbono, é a queima de combustíveis fósseis para geração de energia. (PIVA,2010).

O hidrogênio é um recurso energético com teor zero de carbono. Sua combustão produz apenas calor e água sem poluentes ofensivos ou dióxido de carbono. O hidrogênio pode ser combinado com o oxigênio em reações eletroquímicas em uma célula a combustível para produzir eletricidade. A elevada eficiência de conversão das células a combustível de até 60%, as torna atrativas em comparação com alternativas de geração e energia elétrica baseado em combustíveis fósseis, com eficiência de aproximadamente 34%. A geração de hidrogênio além de livre de poluentes e gases do efeito estufa utiliza menos energia primária (CRABTREE; DRESSELHAUS, 2008).

Este estudo teve como objetivo a avaliação da produção de hidrogênio através da eletrólise da água e de uma solução de NaOH, analisando as variáveis inerentes da reação, para dar embasamento ao dimensionamento de um gerador de hidrogênio a partir de uma célula eletrolítica.

2. METODOLOGIA

2.1 Módulo Experimental para Geração de Hidrogênio através da Eletrólise

O módulo experimental de bancada para geração de hidrogênio através da eletrólise é composto de um reator de vidro (600 mL), manômetro (0- 150 mmBar), regulador de vazão, 2 eletrodos de aço Inox 316 l acoplado a um sensor de temperatura (PT-100), uma fonte de energia elétrica (5V, 350mA e 5 V 2,2 A) e uma bacia de contenção dimensionada para conter possíveis vazamentos, conforme mostrado na Figura 1.

Figura 1-Módulo Experimental do Gerador de Hidrogênio



Fonte: Autores (2018)

O reator de hidrogênio, também possui instrumentos de medição para analisar as variáveis do processo como pressão, vazão e temperatura.

2.2 Preparação da Solução Eletrolítica (Naoh)

Preparou-se a solução eletrolítica de NaOH a 20% em 600 mL de água destilada. Conforme a norma ABNT NBR 11589:2017 analisou-se a temperatura da

reação exotérmica durante um tempo de reação de 120 s.

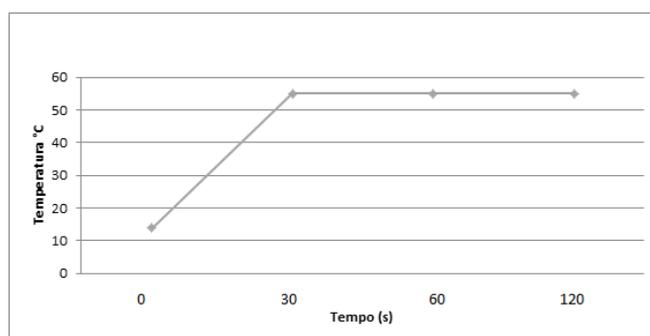
2.3 Variáveis Analisadas no Processo de Eletrólise

Analisou-se a temperatura do processo de eletrólise utilizando um sensor de temperatura (PT-100) por meio de um multímetro (Minipa). As tensões aplicadas foram de 5 Vcc e 19 Vcc. O pH da solução eletrolítica foi medido através de um pHmetro (Mettler toledo, Fe20). A medição da pressão interna do reator de hidrogênio foi realizada com um manômetro (0 - 150 mmBar). A vazão de hidrogênio produzida durante o processo de eletrólise foi realizada através de um rotâmetro de 20 - 250 mL/min.

3. DESENVOLVIMENTO

Na Figura 2, são mostrados os resultados da análise da temperatura da reação durante 120 s da solução eletrolítica preparada a 20% de NaOH.

Figura 2 - Análise da temperatura da reação da solução eletrolítica de NaOH (20%)



Fonte: Autores (2018)

Observa-se que durante o processo de preparação da solução eletrolítica de NaOH e H₂O, a reação libera energia na forma de calor. A energia liberada na reação química, não foi criada, ela encontrava-se anteriormente nos reagentes sob outra forma. As substâncias químicas (ex.: NaOH) armazenam uma quantidade de calor específico, porém foi alterada quando em contato com a H₂O, sofrendo uma transformação (OLIVEIRA, 2011).

Mediu-se temperatura inicial da água destilada, e a mesma se encontrava em 14°C. Durante 30 s, houve a dissociação do NaOH em H₂O, transformando em Na⁺ e OH⁻, logo quando a NaOH se dissociou-se em H₂O, a reação exotérmica estabilizou-se após 30 s em 55°C devido o final da reação, e se manteve em até o tempo final de 120 s (SANTOS, 2007). A Tabela 1, mostra os resultados obtidos das análises das variáveis na geração de hidrogênio a pressão constante de 1 atm como vazão e temperatura quando submetidas a uma variação de corrente aplicada nos eletrodos (2,2 A e 350 mA).

Tabela 1 - Análise das variáveis de temperatura e vazão quando submetidas a variação de corrente aplicada nos eletrodos.

Corrente	Temperatura (°C)	Vazão de H2 (mL/min)
2,2 A	56	120
2,2 A	19	135
350 mA	20	30

Fonte: Autores (2018)

De acordo com a Tabela 1, observa-se uma maior variação na vazão de hidrogênio na solução com concentração a 20% quando submetida a maior aplicação de corrente de 2,2 A, obtendo uma vazão de 135 mL/min e temperatura de 19°C e vazão de 120 mL/min e temperatura de 56°C. A vazão foi maior quando se compara a mesma corrente aplicada (2,2 A) e a quando aplicou-se uma menor corrente de 350 mA. Este fenômeno é devido a 1ª Lei de Faraday, que define que quanto mais intensa for a corrente elétrica aplicada ao processo de eletrólise, maior será a quantidade de massa da substância produzida na reação. Já entre as soluções de mesma concentração usando a mesma corrente houve variação de vazão, reforçando a 1ª Lei de Faraday.

Os resultados obtidos no presente estudo foram superiores ao reportado no estudo realizado por Palhares (2016), o qual utilizou a mesma solução eletrolítica de NaOH, porém uma menor concentração de 0,3%, e analisou as variações de tensão elétrica e material dos eletrodos. Em seu estudo, quando aplicou uma corrente de 30 mA, obteve uma vazão de hidrogênio de 10 mL/min.

Palhares (2016) em seu estudo realizou um teste com três tipos diferentes de materiais de eletrodo (inox, grafite e monel). Dos resultados, o eletrodo de inox não se decompôs na solução, e apresentou como sendo o melhor condutor de energia elétrica entre os eletrodos, e mais satisfatório na produção do gás hidrogênio, além da sua viabilidade econômica, uma vez que não se perde tanto material de inox na solução quando comparado com o eletrodo de grafite. O inox foi o mesmo material do eletrodo utilizado no presente estudo.

4. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos, é notório continuação deste estudo, buscando meios de alcançar maior eficiência na geração de hidrogênio em um sistema de acoplamento de tensão e corrente elétrica. Um meio de alcançar melhorias é investigar formas de aperfeiçoar a célula eletrolítica proposta e o processo de eletrólise atuando no módulo experimental de bancada e a sua operação nas variáveis de corrente e tensão consideradas ideais. De acordo com os estudos, confirma-se a 1ª Lei de Faraday, onde a corrente elétrica é uma das principais variáveis para o processo de eletrólise no processo em estudo, no entanto, outras variáveis se fizeram importante como a temperatura, pH, pressão e vazão para compreender o processo de eletrólise.

REFERÊNCIAS

CRABTREE, G.; DRESSELHAUS, M. **The hydrogen fuel alternative**. *Mrs Bulletin*, v.33, p. 421-429, 2008.

NETO, E. G. Neto. **Armazenamento de Hidrogênio**. 2002. Disponível em: <http://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia/celula_combustivel/armazenamento_de_hidrogenio.html>. Acesso em: 24 de mai. de 2018.

OLIVEIRA, A. C. Rodrigues. **O uso do hidrogênio como fonte energética**. 2011. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2011_TN_WIC_143_902_18877.pdf>. Acesso em: 24 de mai. de 2018.

ACAIL Gás. **Ficha de dados de segurança do Hidrogênio**. 2017. Disponível em: <<https://www.acailgas.pai.pt/image.ashx?i=440623.pdf&fn=21-1049-01-Hidrogenio-Ed.04.pdf>>. Acesso em: 23 de mai. de 2018.

LINDE Ltda. **Manuseamento de Hidrogênio**. 2012. Disponível em: <http://www.linde-gas.pt/internet.lg.lg.prt/pt/images/Conselho_Seguran%C3%A7a13310_25939.pdf?v=6.0>. Acesso em: 22 de mai. de 2018.

EDUCAÇÃO. Química. **Concentração de soluções**. Disponível em: <<http://educacao.globo.com/quimica/assunto/solucoes/concentracao-de-solucoes.html>>. Acesso em: 24 de mai. de 2018

FAGUNDES, A. Caroline. **Guia básico para elaboração de referências bibliográficas**. 2014. Disponível em: <http://dgi.unifesp.br/sites/comunicacao/pdf/entreteses/guia_biblio.pdf>. Acesso em: 26 de mai. de 2018.

PALHARES, D. D. Fátima. **Economia ambiental sustentável: os combustíveis fósseis e as alternativas energéticas**. 2016. Dissertação, Mestrado em Engenharia Química - Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais.

SANTOS, F. M.S. Mamede. **O combustível “hidrogênio”** 2007. Educação, ciência e tecnologia.

PIVA, R. B. **Economia ambiental sustentável: os combustíveis fósseis e as alternativas energéticas**. 2010. UFRGS, PORTO ALEGRE.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11589**: Preparação, padronização e estocagem de soluções para análises químicas,. Rio de Janeiro, 2017.

IDENTIFICAÇÃO DE GASOLINAS ADULTERADAS UTILIZANDO REDES NEURAIS



Amanda Carolyne Gonçalves da Luz¹ e Kawane da Silva Mariano²

RESUMO

Com o aumento disparado dos combustíveis, em precedência à gasolina, inúmeros são os casos encontrados de comercialização de combustíveis adulterados. A gasolina é um dos combustíveis mais utilizados pela população brasileira e a sua adulteração é extremamente prejudicial dos pontos de vista ambiental, social e econômico. Devido a estas causas, a procura por ferramentas computacionais capazes de realizar predições dos parâmetros de qualidade substituindo o procedimento experimental, têm se tornado cada vez mais viável. Seguindo essa perspectiva, o presente trabalho tem como objetivo realizar a aplicação de redes neurais artificiais, na identificação de adulterações em diferentes amostras de gasolinas.

Palavras-chave: Gasolina; Adulteração; Redes Neurais.

ABSTRACT

With the rise of fuels, in precedence of gasoline, there are innumerable cases of commercialization of adulterated fuels. Gasoline is one of the most used fuels by the Brazilian population and its adulteration is extremely harmful from the environmental, social and economic point of view. Due to these causes, the search for computational tools capable of performing predictions of the quality parameters, replacing the experimental procedure, has become increasingly practicable. Following this perspective, the present work aims to perform the application of artificial neural networks, in the identification of adulterations in different samples of gasoline.

Keywords: Gasoline; Adulteration; Neural networks.

1. INTRODUÇÃO

A gasolina automotiva é um dos combustíveis mais familiares à população, utilizadas em veículos leves para uso particular e para transporte de passageiros e de cargas, é uma das mais avançadas tecnologia em motores de combustão interna com ignição por centelha, conhecidos como ciclo Otto (PETROBRAS, 2018).

A gasolina é composta de uma mistura complexa de hidrocarbonetos relativamente voláteis que podem variar de 5 a 12 carbonos. Pode ser obtida pela destilação fracionada do petróleo em refinaria ou via processos químicos complexos, tal como o craqueamento catalítico ou reforma, destinados a aumentar o rendimento volumétrico pela adição de diferentes correntes; e ainda pela mistura mecânica de correntes de hidrocarbonetos líquidos (ANP, 2018).

A Portaria nº 178, de 21 de agosto de 2013, e da Resolução de Diretoria nº 1112, de 23 de outubro de 2013 da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), estabelece as especificações para a comercialização de

¹ Acadêmica do curso de Engenharia Química da FATEB – e-mail: <amandacarolyne@outlook.com>.

² Acadêmica do curso de Engenharia Química da FATEB – e-mail: <kawanemariano@hotmail.com>.

gasolinas automotivas em todo o território nacional e define obrigações dos agentes econômicos sobre o controle de qualidade do produto. Resolução ANP Nº40 de 25 de outubro de 2013 contido na Portaria nº 178, estabelece as especificações para o ensaio de destilação da gasolina (10, 50 e 90% de evaporado, ponto final de ebulição e resíduo máximo), a massa específica a 20 °C e o teor de álcool até 27% (BORSATO, 2009).

Existem várias substâncias que podem ser utilizadas para adulteração da gasolina, tais como a adição de etanol acima do que é especificado pela Portaria nº178, de 21 de agosto de 2013. Óleo diesel e querosene, também são utilizados na adulteração por serem mais baratos e perfeitamente miscíveis com a gasolina (FOGAÇA, 2018).

As Redes Neurais Artificiais (RNAs) têm como objetivo compreender o funcionamento do cérebro humano e, de alguma forma, procurar reproduzi-lo. Elas são compostas de um número grande de elementos de processamento, denominados neurônios (DOUGHERTY, 1995), (BOCANEGRA, 2002).

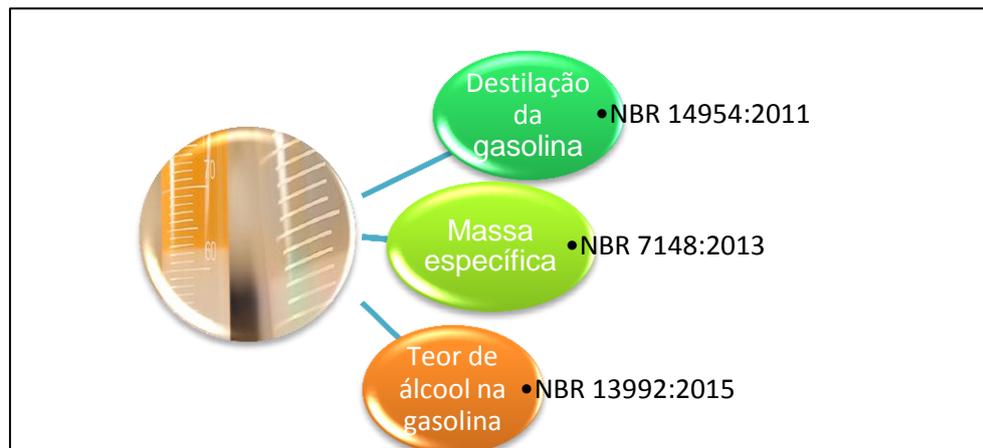
Do ponto de vista prático, as RNAs tem como vantagem o fato de não necessitar de conhecimentos de especialistas para tomar decisões; elas se baseiam unicamente nos exemplos que lhes são fornecidos: não é necessário informar porque tal situação resultou em tal decisão no passado, ou porque tal decisão resultou em tal consequência (BOCANEGRA, 2002).

Com base nos limites estabelecidos pela Portaria nº178, de 21 de agosto de 2013 da ANP e conhecimentos das vantagens das redes neurais, o presente trabalho propõe a aplicação de redes neurais artificiais, para a identificação de adulterações em gasolinas C (do tipo comum).

2. METODOLOGIA

As amostras para realização das análises da qualidade da gasolina serão coletadas de quatro diferentes postos de combustíveis, presentes na cidade de Telêmaco Borba - PR. A figura 1 apresenta as análises que serão realizadas para caracterização das amostras de gasolina comum.

Figura 1- Fluxograma de ensaios para caracterização da gasolina



2.1 Destilação da Gasolina

O ensaio de destilação da gasolina será realizado de acordo com a Norma ABNT NBR 14954:2011. Este ensaio tem como objetivo avaliar as características de volatilidade e desempenho da gasolina, bem como verificar possíveis adulterações fraudulentas. O método estabelece as temperaturas máximas admissíveis para os volumes evaporados (10, 50 e 90%), bem como o ponto final de ebulição e o resíduo (BORSATO, 2009).

Deve-se posicionar o recipiente de ensaio contra a luz ambiente e examiná-lo visualmente quanto à turbidez. Agitar a amostra para produzir um vórtice e examinar o fundo do vórtice quanto à presença de material particulado (TARGET, 2018).

Colocar o frasco de ensaio em uma área iluminada, evitando reflexões de luz na sua frente. Posicionar a carta de barras-padrão diretamente atrás do frasco de ensaio. Comparar a aparência do ensaio com a carta-padrão com as fotografias de carta-padrão (TARGET, 2018).

2.2 Massa Específica

A determinação da massa específica da gasolina será realizada de acordo com a Norma NBR 7148:2013. A determinação da massa específica é necessária para a conversão de volumes medidos em volumes e/ou massas, a temperatura de referência de 20°C (TARGET, 2018).

Utilizando uma proveta deve ser transferida uma quantidade representativa da amostra, deixando-a em temperatura ambiente até a estabilização. O densímetro deve ser mergulhado na amostra até que a temperatura o fez flutuar. No equilíbrio da temperatura foi realizada a leitura da escala, anotando a temperatura da amostra. Se necessário, pode-se utilizar também o banho termostático para evitar a variação de temperatura excessiva durante o procedimento (TARGET, 2018).

2.3 Teor de Álcool na Gasolina

A determinação do teor de álcool presente na gasolina será realizada de acordo com a Norma NBR 13992:2015. A determinação de teor de álcool na gasolina é um dos principais ensaios para identificar adulterações por adições superiores a 27% de álcool na composição da gasolina. Será realizado através de uma proveta de 100 mL com 50 mL de gasolina, o volume da proveta deve ser completado com NaCl, agitando 10 vezes e observando após 10 minutos de repouso o volume final da fase aquosa.

2.4 Construção da Rede

O software Multiple Back-Propagation (MBP), é um software gratuito para treinamento de redes neurais com os algoritmos Back-Propagation e Multiple Back-Propagation. O MBP é um software de fácil aplicação, altamente configurável, treinamento rápido, fornece gráficos RMS durante o treinamento, fornece saída contra os gráficos de saída desejados durante o treinamento para os conjuntos de treinamento e teste, gera código C para as redes treinadas, permite também análise de sensibilidade de entrada (MBP, 2018).

Utilizando software Multiple Back-Propagation (MBP), será construída a rede usando os ensaios de destilação da gasolina, massa específica e teor de álcool como variáveis de entrada, computando os resultados obtidos para realização do treinamento da rede.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1 Histórico das Redes Neurais

Redes Neurais Artificiais (RNA) são técnicas computacionais que apresentam um modelo matemático inspirado na estrutura neural de organismos inteligentes e que adquirem conhecimento através da observação e da experiência (ASSIS, 2015).

Uma RNA é composta por várias unidades fundamentais de processamento, cujo funcionamento é bastante simples. Essas unidades, geralmente são conectadas por canais de comunicação que estão associados a um determinado peso. O comportamento inteligente de uma RNA vem das interações entre as unidades de processamento da rede (MCCULLOCH; PITTS, 1943) (ASSIS, 2015).

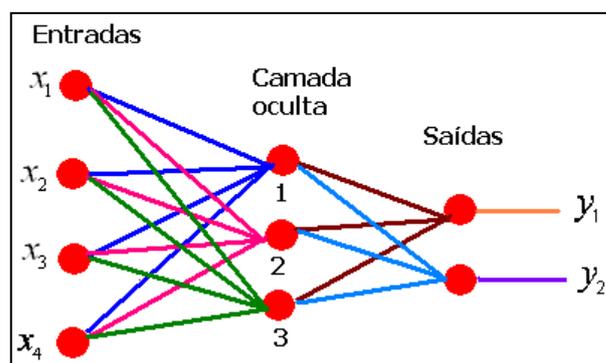
A utilização de Redes Neurais Artificiais (RNA) vem se destacando na construção de sistemas para uso em diversas áreas do conhecimento humano. Isto se deve, em grande parte, pela utilização das redes do tipo Perceptron de Múltiplas Camadas (Multilayer Perceptrons – MLP). Por suas características de obter soluções através do aprendizado do comportamento do ambiente no qual ela está inserida, as redes neurais artificiais dependem de um eficiente algoritmo de treinamento.

É um método computacionalmente eficiente para o treinamento de redes MLPs e que resolve o problema de realizar a propagação reversa do erro em RNAs com múltiplas camadas. Apesar disto, ele ainda apresenta algumas limitações na sua utilização (SCHIFFMANN et al, 1994), (OTAIR et al, 2005) (MIGUEZ, 2012).

A principal vantagem em se usar o Back propagation é que o mesmo trabalha com multicamadas e resolve problemas “não-linearmente separáveis”, aquele onde não pode-se separar duas classes distintas no eixo cartesiano bidimensional apenas traçando uma reta. Outra característica importante é que o Back propagation é feed forward, ou seja, a conexão entre os neurônios não é cíclica (RONALDO, 2013).

O Back propagation é multicamada, pois tem no mínimo três camadas. A Figura 2 pode-se ver um Back propagation de três camadas simples.

Figura 2- Algoritmo Back Propagation



Fonte: RONALDO, 2013.

Têm-se então quatro neurônios de entrada (x_1 , x_2 , x_3 e x_4), onde cada um destes se liga a todos os neurônios intermediários (camada oculta ou hidden layer) e cada neurônio da camada oculta se liga a todos os neurônios da camada de saída (RONALDO, 2013).

REFERÊNCIAS

ANP. **Nota Técnica Gasolina;** 2018. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/images/Notas_Tecnicas/Nota-Tecnica_Gasolina-Formulada_2018fev.pdf>. Acesso em 14 de abril de 2018.

ASSIS, L. S. **O uso de uma Rede Neural Artificial Supervisionada para obtenção do fator de carga de um alimentador.** Disponível em: <http://inf.ufg.br/~gustavo/courses/grad/prafinal_projetcts/2014.2/O%20uso%20de%20uma%20Rede%20Neural%20Artificial%20Supervisionada%20para%20obten%C3%A7%C3%A3o%20do%20fator%20de%20carga%20de%20um%20alimentador.pdf>. Acesso em 7 de Junho de 2018.

BOCANEGRA, C. W. R. **Procedimentos para tornar mais efetivo o uso das redes neurais artificiais em Planejamento de transportes.** *J. Transp. Lit.* vol.9 no.1 Manaus Jan. 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2238-10312015000100045> Acesso em: 17 de abril de 2018.

BORSATO, D; MOREIRA, I; NOBREGA, M. M. ; MOREIRA M. B.; DIAS, G. H. **Aplicação de redes neurais artificiais na identificação de gasolinas adulteradas comercializadas na região de Londrina – Paraná.** *Quim. Nova*, Vol. 32, No. 9, 2328-2332, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422009000900017> Acesso em: 12 de abril de 2018.

FOGAÇA, J. R. V. **Adulteração da gasolina e suas consequências;** *Mundo Educação.* Disponível em: <<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/adulteracao-gasolina-suas-consequencias.htm>>. Acesso em 14 de abril de 2018.

MBP. **Multiple Back Propagation.** Disponível em: < <http://mbp.sourceforge.net/>>. Acesso em 7 de Setembro de 2018.

MIGUEZ, G. **Desempenho do algoritmo de backpropagation com a função de ativação bi-hiperbólica.** Disponível em: <<http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2012/pdf/arq0477.pdf>>. Acesso em 7 de Junho de 2018.

PETROBRAS. **Gasolina.** Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/produtos-e-servicos/produtos/automotivos/gasolina/>>. Acesso em 15 de abril de 2018.

RONALDO. **Redes Neurais Artificiais: Algoritmo BackPropagation.** Disponível em: <<https://www.devmedia.com.br/redes-neurais-artificiais-algoritmo-backpropagation/28559>>. Acesso em 7 de Junho de 2018.

TARGET. **Combustível destilado- Determinação da aparência.** Disponível em: <<https://www.target.com.br/produtos/normas-tecnicas/38386/nbr14954-combustivel-destilado-determinacao-da-aparencia>>. Acesso em 26 de Setembro de 2018.

TARGET. Gasolina automotiva- Determinação do teor de etanol anidro combustível (EAC). Disponível em: <<https://www.target.com.br/produtos/normas-tecnicas/38316/nbr13992-gasolina-automotiva-determinacao-do-teor-de-etanol-anidro-combustivel-eac>>. Acesso em 26 de Setembro de 2018.

TARGET. Petróleo e derivado do petróleo - Determinação da massa específica. Disponível em: <<https://www.target.com.br/produtos/normas-tecnicas/38428/nbr7148-petroleo-e-derivados-de-petroleo-determinacao-da-massa-especifica-densidade-relativa-e-api-metodo-do-densimetro>>. Acesso em 26 de Setembro de 2018.



O ESTUDO DO TEOR DE ZNO EM CATALISADORES DE ÓXIDOS MISTOS APLICADOS NA FOTODEGRADAÇÃO DA ATRAZINA

Gabriela Nascimento da Silva¹; Luiz Mario de Matos Jorge² e Onélia Aparecida Andreo dos Santos³

RESUMO

O presente trabalho procurou avaliar o desempenho dos catalisadores compostos por óxidos mistos (ZnO/TiO₂), com diferentes teores de ZnO (5 e 15%, em massa) na degradação fotocatalítica da atrazina em fase aquosa com radiação UV. Os catalisadores foram preparados pelo método da impregnação úmida e caracterizados por análises texturais. As reações fotocatalíticas foram conduzidas num reator descontínuo do tipo batelada, e analisadas por cromatografia líquida de alta resolução (HPLC) e por espectrofotometria UV-Vis a um comprimento de onda de 221 nm. Os resultados das análises texturais apresentaram valores muito favoráveis, nos quais foram obtidos valores de área e volume de poros maiores que dos comerciais devido à adição de zinco. Os resultados de degradação da atrazina, após 180 minutos de reação, foram de 86,8% e 98,3% para os catalisadores a base TiO₂ contendo 5 e 15% de ZnO respectivamente, valores estes superiores aos obtidos pelos óxidos comerciais puros, que apresentaram 89,4% e 84,3% de degradação para o TiO₂ e o ZnO respectivamente. Comprovando, desta forma, que a adição de 15% zinco na estrutura da titânia ocasionou uma melhora significativa no processo.

Palavras-chave: Atrazina; Fotocatálise; Óxidos mistos, Dióxido de titânio, Óxido de zinco.

ABSTRACT

The present work aimed to evaluate the performance of catalysts composed of mixed oxides (ZnO/TiO₂) with different ZnO contents (5 and 15%, by mass) in the photocatalytic degradation of atrazine in aqueous phase with UV radiation. The catalysts were prepared by the wet impregnation method and characterized by textural analysis. The photocatalytic reactions were conducted in a batch type discontinuous reactor and analyzed by high performance liquid chromatography (HPLC) and UV-Vis spectrophotometry at a wavelength of 221 nm. The results of the textural analyzes showed very favorable values, in which area and volume values of pores were higher than commercial ones due to the addition of zinc. The results of atrazine degradation, after 180 minutes of reaction, were of 86.8% and 98.3% for TiO₂ based catalysts containing 5 and 15% of ZnO respectively, values higher than those obtained by pure commercial oxides that presented 89.4% and 84.3% of

¹ Doutoranda em Engenharia Química no Departamento de Engenharia Química da UEM – e-mail: gabriela_engquim@hotmail.com.

² Doutor em Engenharia Química e docente do Departamento de Engenharia Química da UEM – e-mail: lmmj@deq.uem.br.

³ Doutora em Engenharia Química e docente do Departamento de Engenharia Química da UEM – e-mail: onelia@deq.uem.br.

degradation for TiO₂ and ZnO respectively. In this way, the addition of 15% zinc in the titanium structure resulted in a significant improvement in the process.

Key-words: Atrazine; Photocatalysis; Mixed oxides, Titanium dioxide, Zinc oxide.

1. INTRODUÇÃO

A atrazina, um herbicida de difícil degradação natural, é amplamente utilizado no mundo para o controle de ervas daninhas (Yang et. al, 2014). Estudos têm indicado a detecção frequente de atrazina em meio aquático, causando muitas doenças em seres humanos e intensa poluição ambiental, principalmente em águas e alimentos (Tao e Tang, 2004). Neste sentido, a fotocatalise heterogênea, um processo oxidativo avançado (POA), vem atraindo grande interesse da comunidade científica, como uma forma alternativa para degradar compostos orgânicos. Esse processo visa à degradação do poluente por meio da neutralização do contaminante, sem deixar resíduos perigosos ao meio ambiente a partir da ativação térmica dos catalisadores por meio da luz solar ou artificial (Vaiano et al., 2004). De acordo com a literatura (Moradi et al., 2012), os semicondutores TiO₂ e o ZnO vem sendo amplamente utilizados, pois ambos se encontram com grande disponibilidade, baixo custo e não apresentam toxicidade. Neste contexto, o objetivo principal deste trabalho consiste em avaliar o desempenho de catalisadores a base de óxidos TiO₂, contendo 5 e 15%, em massa, de ZnO em sua composição e TiO₂ e ZnO puros, na degradação fotocatalítica da atrazina.

2. METODOLOGIA

2.1. Síntese dos Catalisadores

Na preparação dos catalisadores a base de titânio contendo diferentes cargas de zinco, pelo método da impregnação com excesso de solvente, foram utilizados TiO₂ e ZnO comerciais puros, das marcas Synth e Dinâmica respectivamente. O método consiste basicamente em misturar o dióxido de titânio com água desionizada, deixar essa mistura resultante, sob lenta agitação, adicionar oxido de zinco, previamente dissolvido em água desionizada, na quantidade necessária para preparar o material na composição desejada (5 e 15%, em massa de Zinco). Em seguida, a solução foi mantida sob agitação por 12 horas, tempo necessário para ocorrer à impregnação do TiO₂ com o ZnO, imediatamente depois o excesso de solvente foi eliminado por evaporação a vácuo, em evaporador rotatório, com ligeiro aquecimento de 80°C, e posteriormente foi mantido na estufa a 100°C por 24 horas para o término da secagem. Por fim, os catalisadores sintetizados foram submetidos à calcinação em mufla, em atmosfera oxidante (ar), por 4 horas a 400°C (Santos, 1999). A temperatura de calcinação utilizada neste trabalho foi inspirada do trabalho de Silva et. al, 2017.

2.2. Caracterização dos Catalisadores

Após a síntese, tanto os precursores quanto os catalisadores suportados preparados pelo método de impregnação foram caracterizados pela análise Textural. Os resultados obtidos apresentaram a área superficial específica, volume específico e diâmetro médio de poros foram determinados no equipamento Quanta Chrome modelo Nova 1200 utilizando adsorção de N₂ a 77 K. Antes das análises, as amostras calcinadas foram submetidas a um tratamento térmico a 460 K, sob vácuo por 8 horas, com o propósito de eliminar água e materiais adsorvidos nos

poros das amostras durante a manipulação das mesmas.

2.3. Testes Reacionais

A atividade catalítica dos materiais foi avaliada em reator batelada, na presença de 5 mg/L de atrazina previamente dissolvida em 200 mL de água desionizada. Na solução contendo o herbicida foram adicionados 20 mg do catalisador e a mistura resultante foi mantida sob agitação constante por 30 min no escuro, para o processo de adsorção, e em seguida ficou sob radiação por 180 min. Foram realizados também testes sob a radiação na ausência de catalisador (fotólise) pelo mesmo tempo de reação. A fonte de luz UV consistiu em uma lâmpada de vapor de mercúrio de 250 W. Para avaliar a degradação da atrazina alíquotas foram retiradas em intervalos regulares (0, 15, 30, 60, 120 e 180 min), filtradas com membrana Millipore 0,22 μm para retirada dos catalisadores e enviadas para análise. Após os ensaios, as amostras coletadas foram analisadas por espectrometria de varredura UV-vis, bem como por cromatografia em fase líquida de alta eficiência, com detector UV a 221nm, coluna C18, 5 μm , comprimento 250 mm e diâmetro 4,6 mm, vazão de 1mL.min⁻¹ e fase móvel composta de uma solução aquosa de acetonitrila com 60% em volume.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1. Caracterização dos Catalisadores

Os resultados de análise textural indicaram estruturas mesoporosas, por apresentarem um diâmetro de partícula em torno de 3 nm, de acordo com a classificação IUPAC, para todos os catalisadores analisados, comerciais e sintetizados. A área superficial específica foi da ordem de 18 e 30 m²/g, e o volume específico de poros, por sua vez, foi da ordem de 0,02129 e 0,08448 cm³/g para os catalisadores a base de titânia contendo 5 e 15%, em massa, de zinco respectivamente. Tanto os valores de área superficial quanto de volume específico se mostraram superiores aos encontrados para os TiO₂ e ZnO comerciais, os quais apresentaram 11 e 8 m²/g como área superficial e 0,02177 e 0,01053 cm³/g de volume específico, respectivamente. Estes resultados foram semelhantes aos apresentados nos trabalhos de Al-Johani et al. (2015) e de Silva et al. (2017).

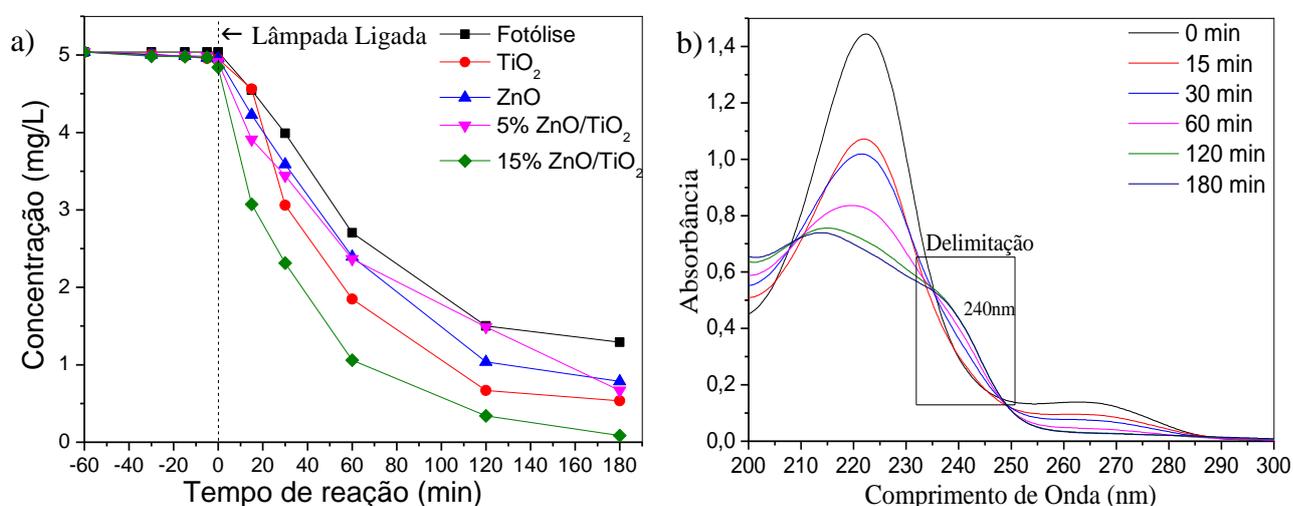
3.2. Testes Reacionais

A Figura 1 mostra a evolução da degradação da atrazina em função do tempo de exposição à luz UV, na presença dos fotocatalisadores comerciais e suportados, além da reação fotolítica e dos testes de adsorção, para 180 min de reação. Por meio desta figura observa-se que os ensaios realizados em condições escuras não evidenciaram qualquer atividade de degradação. Enquanto que o uso apenas da luz no processo mostrou ser capaz de degradar o a atrazina, porém de maneira não muito eficiente por ter alcançado apenas 74% após 180 minutos de reação, revelando, assim, a necessidade da presença do catalisador para um processo mais eficaz.

Em virtude disso, foi evidente a melhora na degradação ocasionada pela utilização de dos catalisadores já nos primeiros minutos de degradação. Os resultados de degradação da atrazina, após 180 minutos de reação, foram de 86,8%, 98,3%, 89,4% e 84,3% para os catalisadores 5% ZnO/TiO₂, 15% ZnO/TiO₂, dióxido de titânio comercial e o óxido de zinco comercial respectivamente. Por essa

razão pode-se afirmar que ocorreu uma maior degradação da atrazina na presença do catalisador suportado contendo 15% de zinco na superfície do dióxido de titânio do que na presença dos demais catalisadores, evidenciando desta forma que a adição de 15% zinco na estrutura do TiO_2 contribuiu com um aumento na atividade fotocatalítica. No entanto, observa-se que apenas 5% de ZnO na estrutura do TiO_2 não foi tão eficiente quanto o 15% ZnO/TiO_2 , pois os resultados de degradação utilizando esse catalisador foram muito próximos aos valores obtidos com os óxidos comerciais.

Figura 1 - a) Degradação da atrazina na ausência e na presença dos catalisadores; b) Varredura espectral da cinética de degradação da atrazina na presença de 15% ZnO/TiO_2 .



Fonte: Do autor. Dados experimentais desta pesquisa plotados no software Origin.

O resultado da varredura espectral para monitorar o comportamento do processo de degradação da atrazina, na presença do catalisador 15% ZnO/TiO_2 , é mostrado na Figura 1(b). Haja vista que os demais catalisadores demonstraram um comportamento semelhante ao do 15% ZnO/TiO_2 . Esta varredura evidencia a diminuição do pico correspondente a Atrazina, que apresenta máxima absorvância em 221 nm, em função do aumento do tempo de exposição na radiação UV, seguida pelo surgimento do sinal de absorvância em aproximadamente 240 nm, nos 30 primeiros minutos de reação, conforme apresentado na delimitação da figura. Ao que tudo indica e segundo a literatura, a queda do pico da Atrazina pode ter sido procedida do aumento do pico a Atrazina-2-hidroxi, também conhecida como Hidroxiatrazina (Silva et al., 2017). De acordo com Moreira et al. (2016), o composto que aparece no comprimento de onda de 240 nm é a Atrazina-2-hidroxi, um dos subprodutos mais comuns da Atrazina e, possivelmente, menos tóxico devido a hidroxilação do anel triazinico junto ao carbono halogenado.

4. CONCLUSÃO

As análises de caracterização evidenciam que a deposição de zinco em superfície da titânia ocasionou um aumento nas áreas superficiais e nos volumes específicos de poros, tornando assim a superfície dos catalisadores mais acessível à luz ultravioleta. Uma composição ideal, dentre as estudadas, foi encontrada em 15% em massa de ZnO na titânia, por se obter uma degradação superior a 98%

com este catalisador em três horas de reação, sendo que 50% desta degradação foi observada já nos primeiros 15 minutos de reação. O monitoramento do comportamento da degradação da atrazina por meio da espectroscopia UV/Vis, permitiu observar a queda do pico do herbicida, além de identificar a formação de um pico no comprimento de onda de 240 nm. Portanto, a inserção/deposição de 15% de ZnO na estrutura do TiO₂ melhorou a atividade fotocatalítica do catalisador no tratamento de águas contendo atrazina.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro fornecido durante todo o período da pesquisa, a todos que de uma maneira ou outra nos auxiliaram com os materiais e equipamentos utilizados nesse estudo, bem como à Universidade Estadual de Maringá (UEM), pelo apoio técnico.

REFERÊNCIAS

AL-JOHANI, M. S.; AL-ZAGHAYER, Y. S.; AL-MAYMAN, S. I. TiO₂ /ZnO Photocatalytic Activity for Hydrogen Production. *International Journal of Environmental Sciences*, v. 4, n. 1, 2015.

SANTOS, O. A. A. Hidrogenação seletiva do ácido oleico em catalisadores de rutênio. UNICAMP, 1999.

SILVA, G. N., JORGE, L. M. M., SANTOS, O. A. A. Influence of ZnO Content in Mixed Oxides Catalysts Applied in the Photocatalytic Degradation of Atrazine, *Chemical Engineering Transactions*, v. 57, p. 637-642, 2017.

MOREIRA, A. J. Emprego de diferentes energias em conjunto com nano-materiais para degradação de Atrazina. UNIFAL, 2015.

TAO, Q. H.; TANG, H. X, Effect of dye compounds on the adsorption of atrazine by natural sediment. *Chemosphere*, p. 31-38, 2004.

VAIANO, V., IERVOLINO, G., SANNINO, D., Photocatalytic Removal of Tartrazine Dye from Aqueous Samples on LaFeO₃/ZnO Photocatalysts. *Chemical Engineering Transactions*, v. 39, p. 619-624, 2014.

YANG Y., CAO H., PENG P., BO H., Degradation and transformation of atrazine under catalyzed ozonation process with TiO₂ as catalyst, *Journal of Hazardous Materials*, v. 279, p. 444-451, 2014.

APLICAÇÃO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EM SISTEMAS DE BOMBEAMENTO MECÂNICO



Leonan De Albuquerque Piasentim¹ e Marcos Willian Lourenço²

1. INTRODUÇÃO

A Inteligência Artificial é um ramo da ciência da computação que está em ascensão nas últimas décadas e possui uma grande gama de aplicações. Porém é difícil definir exatamente o que é uma inteligência artificial, pois existe muita discussão sobre o assunto ao redor do mundo, mas, segundo Elaine Rich (RICH,1998) embora seja inútil tentar definir com precisão termos complexos e de ampla utilização, é importante delinear um contorno no conceito para as discussões sobre o assunto sigam para a mesma direção.

O termo inteligência artificial nasceu no encontro de Dartmouth em 1956. No final dos anos 50 e início da década de 60 os cientistas Allen Newell, Herbert Simon e J.C.Shaw introduziram o conceito de pensamento simbiótico, onde tentaram construir sistemas baseados em símbolos ao invés de números (NCE.UFRJ.BR).

Um sistema IA tem uma característica de representação e manipulação de dados que a torna muito útil na resolução de problemas. Através de dados pré-existentes um sistema IA é capaz de inferir ou deduzir novos conhecimentos e manipular estas informações para usá-las na resolução de problemas complexos (NCE.UFRJ.BR). As IA's são estudadas desde a década de 50, porém só recentemente estão em evidência devido às suas aplicações práticas somadas com o desenvolvimento dos computadores e softwares, bem como a capacidade de processamento de dados que cresceu exponencialmente com o passar dos anos, e tornou aplicável o uso de uma IA a uma situação prática para resolução de problemas.

2. PROPOSTA DE PROBLEMA

Os vários setores da engenharia se aproveitaram muito do desenvolvimento das inteligências artificiais e sua capacidade de descrever fenômenos a partir de dados de teste ou experimentais. Em fábricas de diversos setores de produção existem parâmetros do processo que são calculados e monitorados usando redes neurais, facilitando a operação do processo para que este fique mais uniforme.

O bombeamento é uma das operações mais básicas e importantes no setor da indústria e das engenharias que a estudam. Reagentes químicos, soluções e emulsões bem como vapor usado como energia e fonte térmica em trocadores de calor, combustíveis líquidos e gasosos e muitas outras coisas são transportadas através das linhas de produção através de bombas. É uma

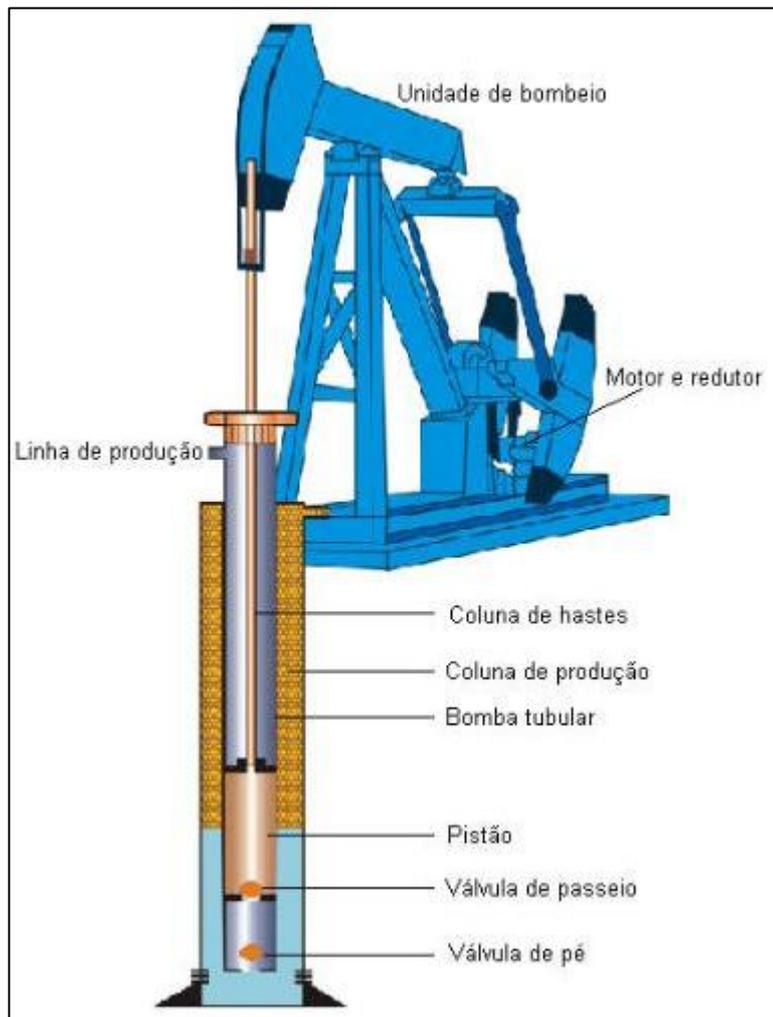
¹ Acadêmico do curso de Engenharia Química da FATEB – e-mail: <nome@enderetrônico.com.br>.

² Mestre em Psicologia, doutora em Linguística e professora do Departamento de Psicologia Educacional da Unicamp – e-mail: <nome@enderecoeletrônico.com.br>.

operação que deve estar bem dimensionada já que é muito presente e está diretamente relacionada com o fluxo de produção já que o bombeamento irá controlar as vazões de combustível, reagentes, etc.

Sistemas de bombeamento mecânico são amplamente usados para extração de petróleo, seguindo um sistema de bombeamento semelhante ao representado na figura 1:

Figura1: Sistema de Bombeamento de Petróleo



Fonte: (THOMAS,2001)

A aplicação de sistemas de inteligência artificial tem sido amplamente utilizada na detecção de falhas de operação durante a produção de bombeamento (CORRÊA, 1995), o que motivou o estudo do tem neste trabalho. Dito isto se espera neste presente trabalho realizar as seguintes metas:

- Compreender a teoria básica por trás do uso de sistemas de inteligência artificial para a solução de problemas

fenomenológicos;

- Compreender o funcionamento do bombeamento mecânico para extração terrestre de petróleo;
- Elaborar um modelo de bombeamento mecânico;
- Confrontar os valores de projeto e especificações de fabricante com os valores medidos em operação;

Usar os dados em um sistema baseado em inteligência artificial, como redes neurais artificiais, por exemplo, para descrever o processo e identificar pontos de falhas.

Em suma, com a realização deste trabalho se espera, ao final de sua realização, que tenha sido desenvolvido um conhecimento sólido sobre a teoria das inteligências artificiais e como são aplicadas na resolução de problemas.

CRONOGRAMA DO TRABALHO

Data	Tarefa a cumprir
29/abr	Coletar os dados necessários sobre o fenômeno de bombeamento como propriedades do fluido e também entender os fenômenos físicos que regem o bombeamento
06/mai	Estudar os conceitos de IA envolvidos na simulação como reconhecimento de padrões e lógica
13/mai	Estudar os modelos matemáticos que são aplicáveis em um sistema de bombeamento para descrição do fenômeno e adotar um para resolução do problema
20/mai	Estudar as possibilidades de métodos de resolução do problema e escolher um para resolução do problema
27/mai	Revisão bibliográfica sobre o método de resolução escolhido
03/jun	Início do desenvolvimento da solução do problema
10/jun	Revisão do trabalho com o orientador
Semana de provas	Apresentação do problema proposto no dia marcado para a interdisciplinar

3. METODOLOGIA

3.1 Base de Dados

Para descrever o comportamento do sistema de bombeamento por uma rede neural será necessário a criação de uma base de dados para que a rede tenha como trabalhar para estimar o comportamento do sistema. Também serão necessários modelos matemáticos para descrever os comportamentos das várias partes do escoamento.

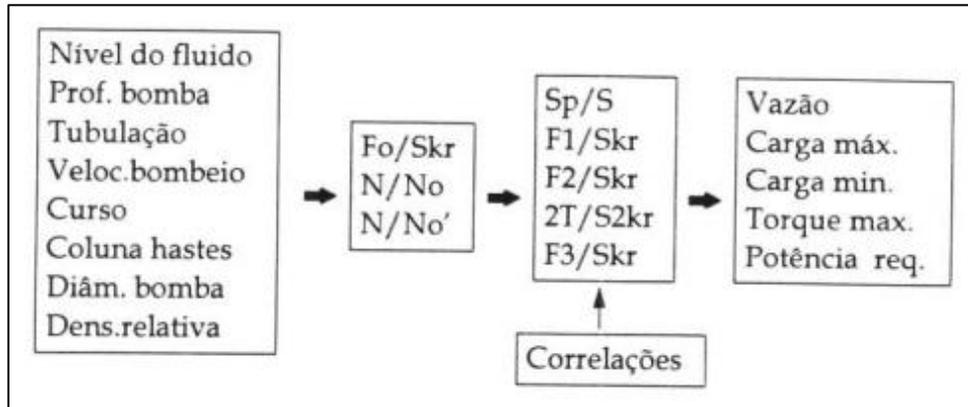
Os modelos matemáticos serão montados a partir de parâmetros adimensionais específicos para cada parte física dos equipamentos responsáveis pelo bombeamento:

- Curso efetivo do pistão;
- Carga máxima na haste polida;
- Carga mínima na haste polida ;

- Torque máximo;

Potência na haste polida.

Figura 2: Correlações adimensionais



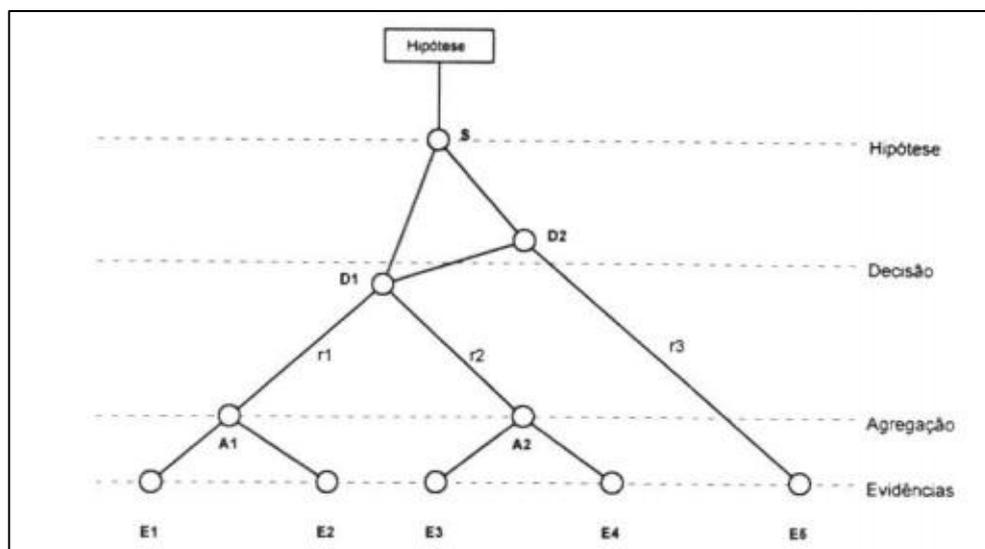
Fonte: (Correa, 1995)

Já os dados do escoamento a princípios serão determinados a partir de uma seleção de dados criada a partir de um escoamento laminar de petróleo nas condições teóricas de um bombeamento, já que não é possível medir experimentalmente os dados. O número de Reynolds será usado para criar a base de dados que descreve um sistema em escoamento laminar.

4. ASPECTOS TEÓRICOS DE REDES NEURAIS UTILIZADOS

- Redes neurais simbólicas: permite a análise de dados pela representação de um raciocínio enquanto se coleta informações, aumentando ou diminuindo a confiança na hipótese por ela representada.

Figura 3: esquema de uma rede neural simbólica



Fonte: (Correa, 1995)

Na entrada são inseridas as informações iniciais ou evidências. Na agregação as informações são processadas, enquanto na etapa de decisões são onde as decisões conforme a necessidade de informações e na saída o resultado dos dados processados.

O atrito será a propriedade determinante para o tipo de escoamento em que o sistema opera e são calculados a partir das cargas nas válvulas do sistema de bombeamento.

REFERÊNCIAS

CORRÊA, DOS SANTOS F. JOSÉ, **Sistema Inteligente para aplicações de soluções ao bombeamento mecânico de petróleo**, 1995. Disponível em file:///C:/Users/Leonan/Downloads/Correa_JoseFranciscodosSantos_M.pdf

RICH, Elaine. **Inteligência Artificial**. São Paulo: McGraw-Hill, 1988.

THOMAS, José Eduardo, **Fundamentos da Engenharia do Petróleo**, 2001.

Visão Geral Sobre Inteligência Artificial. Disponível em <http://www.nce.ufrj.br/GINAPE/VIDA/ia.htm>