



Cleberton Correia Santos
(Organizador)

**Estudos Interdisciplinares
nas Ciências e da Terra
e Engenharias 4**

Cleberton Correia Santos
(Organizador)

Estudos Interdisciplinares nas Ciências
Exatas e da Terra e Engenharias 4

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Executiva: Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Natália Sandrini
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^a Dr^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^a Dr^a Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof^a Dr^a Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof.^a Dr.^a Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
E82	<p>Estudos interdisciplinares nas ciências exatas e da terra e engenharias 4 [recurso eletrônico / Organizador Cleberton Correia Santos. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. – (Estudos Interdisciplinares nas Ciências Exatas e da Terra e Engenharias; v. 4)</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-622-5 DOI 10.22533/at.ed.225191109</p> <p>1. Ciências exatas e da Terra. 2. Engenharias. 3. Tecnologia. I.Santos, Cleberton Correia. II. Série.</p> <p style="text-align: right;">CDD 016.5</p>
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

O livro “Estudos Interdisciplinares nas Ciências Exatas e da Terra e Engenharias” de publicação da Atena Editora apresenta em seu 4º volume 37 capítulos com temáticas voltadas à Educação, Agronomia, Arquitetura, Matemática, Geografia, Ciências, Física, Química, Sistemas de Informação e Engenharias.

No âmbito geral, diversas áreas de atuação no mercado necessitam ser elucidadas e articuladas de modo a ampliar sua aplicabilidade aos setores econômicos e sociais por meio de inovações tecnológicas. Neste volume encontram-se estudos com temáticas variadas, dentre elas: estratégias regionais de inovação, aprendizagem significativa, caracterização fitoquímica de plantas medicinais, gestão de riscos, acessibilidade, análises sensoriais e termodinâmicas, redes neurais e computacionais, entre outras, visando agregar informações e conhecimentos para a sociedade.

Os agradecimentos do Organizador e da Atena Editora aos estimados autores que empenharam-se em desenvolver os trabalhos de qualidade e consistência, visando potencializar o progresso da ciência, tecnologia e informação a fim de estabelecer estratégias e técnicas para as dificuldades dos diversos cenários mundiais.

Espera-se com esse livro incentivar alunos de redes do ensino básico, graduação e pós-graduação, bem como outros pesquisadores de instituições de ensino, pesquisa e extensão ao desenvolvimento estudos de casos e inovações científicas, contribuindo na aprendizagem significativa e desenvolvimento socioeconômico rumo à sustentabilidade e avanços tecnológicos.

Cleberton Correia Santos

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE RISCOS DE INUNDAÇÃO PARA O MUNICÍPIO DE PONTE NOVA – MG	
Anderson Nascimento Milagres Gian Fonseca dos Santos Danilo Segall César Yann Freire Marques Costa Klinger Senra Rezende Alixandre Sanquetta Laporti Luppi Adonai Gomes Fineza	
DOI 10.22533/at.ed.2251911091	
CAPÍTULO 2	8
MUTAGÊNESE DA LEVEDURA <i>Candida viswanathii</i> PARA A PRODUÇÃO DE ENZIMAS LIPOLÍTICAS	
Luiz Renato Lima Silva Miranda Nayra Morgana Lima De Oliveira Erika Carolina Vieira Almeida Adriana Augusta Neto Alex Fernando De Almeida	
DOI 10.22533/at.ed.2251911092	
CAPÍTULO 3	19
A RELAÇÃO ENTRE PROGRAMAS DE DESENVOLVIMENTO DE LIDERANÇA E O CAPITAL SOCIAL NAS ORGANIZAÇÕES	
Bruno Henriques Watté Márcio Vieira de Souza	
DOI 10.22533/at.ed.2251911093	
CAPÍTULO 4	34
BRUNIMENTO FLEXÍVEL DE CILINDROS DE BLOCOS DE COMPRESSORES HERMÉTICOS: AVALIAÇÃO DO EFEITO DA GRANULOMETRIA E DO NÚMERO DE GOLPES DA FERRAMENTA NO PARÂMETRO DE RUGOSIDADE R_p	
Guilherme Henrique Caetano Barros Rosenda Valdés Arencibia Luciano José Arantes	
DOI 10.22533/at.ed.2251911094	
CAPÍTULO 5	41
ANÁLISE DA ACELERAÇÃO POR EXTRAPOLAÇÃO DA FONTE DE FISSÃO CONSIDERANDO A TEORIA DE DIFUSÃO DE NEUTRONS EM REATORES NUCLEARES	
Andrey Silva Pontes Henrique Matheus Ferreira da Silva Lenilson Moreira Araújo	
DOI 10.22533/at.ed.2251911095	

CAPÍTULO 6	51
ANÁLISE DE DESEMPENHO E AVALIAÇÃO DOS PROTOCOLOS DE REDES DE SENSORES SEM FIO EM <i>SMART GRIDS</i>	
Álison De Oliveira Alves Felipe Denis Mendonça De Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.2251911096	
CAPÍTULO 7	64
SÍNTESE DE COMPOSTOS HÍBRIDOS PERILIL-DIHIDROPIRIMIDINONAS ATRAVÉS DA REAÇÃO DE HUISGEN COM FORMAÇÃO DE ANÉIS 1,2,3-TRIAZÓLICOS	
Vinícius Vendrusculo Dennis Russowsky	
DOI 10.22533/at.ed.2251911097	
CAPÍTULO 8	74
ANÁLISES DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICAS DA CASTANHOLA	
Jonas Soares de Mesquita Davi Pereira Araújo Maria Carolina Martins da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.2251911098	
CAPÍTULO 9	81
USO DE CATALISADORES DE NÍQUEL PARA A RESOLUÇÃO CINÉTICA DINÂMICA DE AMINAS PRIMÁRIAS	
Fernanda Amaral de Siqueira Natália Cavallaro Martins de Sousa Sania Maria de Lima	
DOI 10.22533/at.ed.2251911099	
CAPÍTULO 10	92
AVALIANDO EM MATEMÁTICA: UM ESTUDO DE CASO NO CENTRO-OESTE MINEIRO	
Patrícia Milagre de Freitas Leandro Teles Antunes dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.22519110910	
CAPÍTULO 11	102
AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE VIDA NO TRABALHO EM TRABALHADORES DA CONSTRUÇÃO CIVIL	
Andre Luis Martins De Souza Renata Evangelista Alexandre Bueno Ronaldo Marques Serigne Ababacar Felipe Rogério Hudson Luis	
DOI 10.22533/at.ed.22519110911	

CAPÍTULO 12 111

AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE UM SOLO RESIDUAL DE GNAISSE MADURO ESTABILIZADO COM LAMA DE CAL

Danilo Segall César
Yann Freire Marques Costa
Anderson Nascimento Milagres
Gian Fonseca dos Santos
Eduardo Souza Candido
Klinger Senra Rezende
Adonai Gomes Fineza

DOI 10.22533/at.ed.22519110912

CAPÍTULO 13 122

AVALIAÇÃO TOXICOLÓGICA DE RESÍDUOS ELETRÔNICOS: ESTUDO DE CASO COM PILHAS ALCALINAS

Pedro Luiz Dias Barroso
Julia Santos Caetano
Jean Pierre Sayago
Joeci Ricardo Godoi
Rodrigo Souza Banegas
Letícia Flohr

DOI 10.22533/at.ed.22519110913

CAPÍTULO 14 132

CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO DE FILMES DE PAADDA/PSS E PDDA/PSS PREPARADOS POR LAYER-BY-LAYER

Samanta Costa Machado Silva
Jorge Amim Júnior
Ana Lucia Shiguihara

DOI 10.22533/at.ed.22519110914

CAPÍTULO 15 144

COMPOSIÇÃO QUÍMICA, FENÓIS TOTAIS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DAS FOLHAS DE *Simaba ferruginea*

Jessica Sara de Sousa Macêdo Oliveira
Lucivania Rodrigues dos Santos
Adonias Almeida Carvalho
Renato Pinto de Sousa
Gerardo Magela Vieira Júnior
Ruth Raquel Soares de Farias
Mariana Helena Chaves

DOI 10.22533/at.ed.22519110915

CAPÍTULO 16 157

DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS ALCALINAMENTE ATIVADOS PARA MITIGAÇÃO DA REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO: AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS, FÍSICAS E QUÍMICAS

Jocélio Jairo Vieira Filho
Kelly Cristiane Gomes
Williamns Tadeu de Oliveira Lins Belo

DOI 10.22533/at.ed.22519110916

CAPÍTULO 17	183
ESTRUTURA AXIOMÁTICA DO ORIGAMI: UMA ABORDAGEM DOS POLIEDROS REGULARES NA FORMAÇÃO DE PROFESSORES DE MATEMÁTICA	
Anita Lima Pimenta Eliane Scheid Gazire	
DOI 10.22533/at.ed.22519110917	
CAPÍTULO 18	193
ESTUDO DO EFEITO DOS PARÂMETROS DE PROJETO DE BICOS EXTRUSORES EM BIOIMPRESSÃO UTILIZANDO FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL	
Patrícia Muniz de Oliveira Isabela Poley Estevam Barbosa Las Casas Marina Spyer Las Casas Janaina Dernowsek	
DOI 10.22533/at.ed.22519110918	
CAPÍTULO 19	205
IMPACTO DA RESOLUÇÃO HORIZONTAL NA SIMULAÇÃO DOS JATOS DE BAIXOS NÍVEIS NA AMÉRICA DO SUL USANDO O MODELO GLOBAL DO CPTEC	
Dayana Castilho de Souza Paulo Yoshio Kubota Silvio Nilo Figueroa Enver Manuel Amador Ramirez Gutierrez Caio Augusto dos Santos Coelho	
DOI 10.22533/at.ed.22519110919	
CAPÍTULO 20	218
<i>LESSON STUDY</i> : UMA ADAPTAÇÃO PARA O BRASIL	
Renata Camacho Bezerra Maria Raquel Miotto Morelatti	
DOI 10.22533/at.ed.22519110920	
CAPÍTULO 21	226
MICROSCOPIA DE DESFOCALIZAÇÃO COMO UMA FERRAMENTA DE ESTUDO DE PROPRIEDADES MORFOLÓGICAS E MECÂNICAS DE ERITRÓCITOS	
Paula M. S. Roma Luiza C. Mourão Marcelo P. Bemquerer Erika M. Braga Ubirajara Agero	
DOI 10.22533/at.ed.22519110921	
CAPÍTULO 22	232
PENSAMENTO ALGÉBRICO E SUA APLICAÇÃO EM EQUAÇÕES LINEARES	
Fábio Mendes Ramos Fabricia Gracielle Santos Daniel Martins Nunes	
DOI 10.22533/at.ed.22519110922	

CAPÍTULO 23	243
ENSINO DE QUÍMICA VERSUS TICs: RETRATO DE PUBLICAÇÕES BRASILEIRAS	
Eleonora Celli Carioca Arenare	
DOI 10.22533/at.ed.22519110923	
CAPÍTULO 24	253
PREPARAÇÃO E AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE BLENDS DE PHB/PC	
Francielle Schmitz	
Carolina de Andrade	
Ivonete Oliveira Barcellos	
DOI 10.22533/at.ed.22519110924	
CAPÍTULO 25	267
RESINAS DE POLIÉSTER INSATURADO E SUA APLICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO DE EMBARCAÇÕES EM FIBERGLASS	
Patricia Reis Pinto	
Sérgio da Silva Feitosa	
Alaíde de Sá Barreto	
DOI 10.22533/at.ed.22519110925	
CAPÍTULO 26	277
APLICAÇÃO DO MÉTODO DA PENALIZAÇÃO ROBUSTA PARA ANÁLISE DE PROBLEMAS DE OTIMIZAÇÃO MULTI-OBJETIVO	
Gustavo Barbosa Libotte	
Fran Sérgio Lobato	
Francisco Duarte Moura Neto	
Gustavo Mendes Platt	
DOI 10.22533/at.ed.22519110926	
CAPÍTULO 27	289
SÍNTESE DE FASE SÓLIDA HÍBRIDA MOLECULARMENTE IMPRESSA PARA EXTRAÇÃO DE CAFEÍNA EM AMOSTRAS ÁGUA SUPERFICIAL	
Fabiana Casarin	
Camila Santos Dourado	
Ana Cristi Basile Dias	
DOI 10.22533/at.ed.22519110927	
CAPÍTULO 28	302
SOLUÇÃO ANALÍTICA DE PROBLEMA BIDIMENSIONAL DE CONDUÇÃO DE CALOR UTILIZANDO FUNÇÕES DE GREEN	
José Aguiar dos Santos Junior	
José Ricardo Ferreira Oliveira	
Eduardo Peixoto de Oliveira	
Guilherme Ramalho Costa	
Jefferson Gomes Do Nascimento	
Alisson Augusto Azevedo Figueiredo	
Gilmar Guimarães	
DOI 10.22533/at.ed.22519110928	

CAPÍTULO 29 310

TAXAS DE FREQUÊNCIA E GRAVIDADE DOS ACIDENTES OCORRIDOS EM UM GRUPO DE PROPRIEDADES CAFEEIRAS CERTIFICADAS

Rafael Augusto Silva Souza
Geraldo Gomes de Oliveira Júnior
Armando Mendes Nogueira
Raphael Nogueira Rezende
Agda Silva Prado Oliveira
Adriano Bortolotti da Silva
Patrícia Ribeiro do Valle Coutinho

DOI 10.22533/at.ed.22519110929

CAPÍTULO 30 315

UM SISTEMA COLABORATIVO DE INCENTIVO A DOAÇÃO DE SANGUE

Alúcio José Pereira
Fábio Abrantes Diniz
Elder Gonçalves Pereira
Francisco Paulo de Freitas Neto
Elissandra Cheu Pereira do Nascimento

DOI 10.22533/at.ed.22519110930

CAPÍTULO 31 329

UMA PROPOSTA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE NÚMEROS DECIMAIS NO 5º ANO DO ENSINO FUNDAMENTAL

Cristiana Monique Feltes Sivert
Cassiano Scott Puhl

DOI 10.22533/at.ed.22519110931

CAPÍTULO 32 339

ESTUDO DA VIABILIDADE NO DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA COMPUTACIONAL DE BAIXO CUSTO PARA MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM CULTIVOS DE ORGANISMOS AQUÁTICOS: APLICAÇÃO INICIAL EM VIVEIROS ESCAVADOS

Wilmar Borges Leal Junior
Fabiano Medeiros Tavares
Ítalo Cordeiro Silva Lima
Delfim Dias Bonfim
Lucyano Campos Martins
Nailson Martins Dantas Landim
Haryson Huan Arruda da Silva Santos
Douglas Ferreira Chaves

DOI 10.22533/at.ed.22519110932

CAPÍTULO 33 349

REGRESSÃO POLINOMIAL E REDES NEURAS ARTIFICIAIS NA AVALIAÇÃO DE IMÓVEIS

Carlos Augusto Zilli
Luiz Fernando Palin Droubi
Norberto Hochheim

DOI 10.22533/at.ed.22519110933

CAPÍTULO 34 363

ANALISE DE RECALQUES NO CONTORNO RODOVIÁRIO DA GRANDE FLORIANÓPOLIS

Wagner de Sousa Santos
Amanda Morlos

DOI 10.22533/at.ed.22519110934

CAPÍTULO 35	376
SIMULAÇÃO DA ESTABILIDADE DE UM TÚNEL EM MACIÇO ROCHOSO	
Yann Freire Marques Costa	
Danilo Segall César	
Gian Fonseca dos Santos	
Anderson Nascimento Milagres	
Klinger Senra Rezende	
Adonai Gomes Fineza	
DOI 10.22533/at.ed.22519110935	
SOBRE O ORGANIZADOR.....	387
ÍNDICE REMISSIVO	388

GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE RISCOS DE INUNDAÇÃO PARA O MUNICÍPIO DE PONTE NOVA – MG

Anderson Nascimento Milagres

Universidade Federal de Viçosa
Viçosa-MG

Gian Fonseca dos Santos

Universidade Federal de Viçosa
Viçosa-MG

Danilo Segall César

Faculdade de Ciências e Tecnologia de Viçosa
Viçosa-MG

Yann Freire Marques Costa

Faculdade de Ciências e Tecnologia de Viçosa
Viçosa-MG

Klinger Senra Rezende

Faculdade de Ciências e Tecnologia de Viçosa
Viçosa-MG

Alixandre Sanquetta Laporti Luppi

Universidade Federal de Viçosa
Viçosa-MG

Adonai Gomes Fineza

Faculdade de Ciências e Tecnologia de Viçosa
Viçosa-MG

RESUMO: A inundação é o transbordamento da água da calha normal de rios, mares, lagos e açudes, ou acúmulo de água por drenagem deficiente, em áreas não habitualmente submersas. As principais condições naturais para a ocorrência de inundações são relevo, tipo de precipitação, cobertura vegetal e

capacidade de drenagem. Já as principais condições artificiais são obras hidráulicas, urbanização, desmatamentos, reflorestamento e uso agrícola. Os objetivos do trabalho foram aplicar o geoprocessamento utilizando o método AHP para determinação de um modelo matemático para elaboração do mapeamento das áreas de riscos de inundação do município de Ponte Nova – MG. Para isso, realizou-se a reclassificação das classes e foram obtidos os mapas que serão utilizados para elaboração do mapeamento das áreas de risco de inundação para o Município de Ponte Nova. O mapa de uso e ocupação da terra teve a maior parte de sua área composta por pastagem. As maiores altitudes foram verificadas que estão na periferia do município e as menores altitudes na parte central do município. As áreas de Risco de Inundação são mapeadas com o intuito principal de proteger e alertar a população sobre tais riscos. As notas e os pesos encontrados foram satisfatórios, comprovando a validade do método AHP. O mapeamento de risco de inundação foi preciso, comparando as áreas de risco com o real em campo. As classes utilizadas para o mapeamento foram sensatas, onde todas tem grande relação com risco de inundação.

PALAVRAS-CHAVE: Habitação, mapas, população, precipitação, segurança

GEOPROCESSION APPLIED TO THE MAPPING OF AREAS OF FLOOD RISK FOR THE MUNICIPALITY OF PONTE NOVA - MG

ABSTRACT: The flood is the overflow of normal river water from rivers, mares, lakes and reservoirs, or poor combustion water, in areas not usually submerged. The flags are natural to floods are relief, type of precipitation, vegetation cover and drainage capacity. His main works are hydraulic, urbanization, deforestation, reforestation and agricultural use. The objectives of the tralham were to apply geoprocessing using the AHP method to determine a mathematical model for the mapping of flood risk areas in the municipality of Ponte Nova - MG. For this, a reclassification of the teaching classes was produced and used for the mapping of the flood risk areas of the Municipality of Ponte Nova. The land use and occupation map has a larger part of its pasture area. As higher altitudes were verified that they are in the periphery of the municipality and like greater altitudes in the central part of the municipality. The Flood Risk areas are mapped with the main purpose of protecting and alerting a species to risks. The notes and weights were satisfactory, proving the validity of the AHP method. The flood risk mapping was precise, comparing it as areas of risk with the real in the field. Classes used to map were sensible, where all large interfaces with flood risk.

KEYWORDS: Housing, maps, population, precipitation, safety

1 | INTRODUÇÃO

É importante relevar que existe uma diferença entre os fenômenos inundação e enchente (DEFESA CIVIL NACIONAL, 1996). A inundação é o transbordamento da água da calha normal de rios, mares, lagos e açudes, ou acúmulo de água por drenagem deficiente, em áreas não habitualmente submersas, enquanto que a enchente é a elevação do nível de água de um rio, acima de sua vazão normal.

Segundo Tucci (2003) as principais condições naturais para a ocorrência de inundações são relevo, tipo de precipitação, cobertura vegetal e capacidade de drenagem. Já as principais condições artificiais são obras hidráulicas, urbanização, desmatamentos, reflorestamento e uso agrícola.

Os objetivos do tralham foram aplicar o geoprocessamento utilizando o método AHP para determinação de um modelo matemático para elaboração do mapeamento das áreas de riscos de inundação do município de Ponte Nova – MG.

Os resultados obtidos por este projeto têm uma aplicação direta em vários setores da sociedade. Com relação aos resultados diretos, o mapeamento das áreas inundáveis e o conhecimento das localidades, edificações e avenidas afetadas, permitirá agilização na remoção de pessoas e bens materiais atingidos por determinada cota de inundação. (ECKHARDT, 2008).

2 | MATERIAL E MÉTODOS

A base de dados espaciais e informações cartográficas necessária para a geração do presente estudo foi fornecida pelo Portal De Metadados Geoespaciais da Ana - GeoNetwork –, que se trata de uma base envolvendo banco de dados e uma base cartográfica digital sendo os seguintes planos de informação utilizados no formato “shapefiles” (.shp) (ArcGis /ArcInfo):

- Uso e ocupação do solo em moderada resolução espacial (10m) da bacia do rio doce
- Modelo digital de elevação (mde) de moderada resolução espacial (células de 10m) da bacia do rio doce

Para cada classe mapeada foram estabelecidas notas variando de 0 a 10 de acordo com o grau de susceptibilidade a inundação, utilizando a técnica da reclassificação espacial, utilizando o comando RECLASSIFY, disponível no módulo Arc Toolbox do aplicativo computacional ArcGIS 10.1.

Após a elaboração do mapeamento do Índice de Risco de Inundação no município de Ponte Nova, MG, dar-se-á início a um estudo estatístico (razão de consistência-RC) correlacionando as áreas de inundação com cada classe introduzida no modelo.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a reclassificação das classes foram obtidos os mapas que serão utilizados para elaboração do mapeamento das áreas de risco de inundação para o Município de Ponte Nova. O mapa de uso e ocupação da terra reclassificado, teve a maior parte de sua área composta pela nota 4, correspondente à pastagem.

No mapeamento da altitude ficou evidenciado que as maiores altitudes estão na periferia do município e as menores altitudes na parte central do município. O mapa de declividade apresentou em 89,68% da área do município de Ponte Nova, áreas com altas declividades acima de 8%.

De posse da matriz de comparação avalia-se a importância de cada classe, ou seja, o peso dos fatores de uso do solo, altitude e declividade que cada uma terá na realização da multiplicação dos mapas, para criação do mapa de risco de inundação. Após isto verificou que a classe declividade teve maior peso, porém não passando de 50%, o que é importante, para não afetar muito no mapeamento final.

De acordo com os pesos foi estabelecida a razão de consistência (RC), onde deve ser menor que 0,1, para avaliar se os pesos calculados foram verídicos, neste caso o RC encontrado foi de 0,001, ou seja, 99,9% de precisão no modelo. Através dos pesos calculados com a metodologia proposta por Saaty (1997) e dos mapas reclassificados de acordo com suas classes, é possível montar o modelo de Índice de Risco de Inundação (IRI). Os mapas foram multiplicados pelos seus respectivos pesos e somados, para então finalizar a elaboração do mapeamento de risco de

inundação para o Município de Ponte Nova, MG, segundo a Figura 1.

	Uso do Solo	Declividade	Altitudes
Uso do Solo	1.000	0.667	0.400
Declividade	1.500	1.000	0.667
Altitudes	2.500	1.500	1.000

Tabela 1: Pesos aplicados pela metodologia de Saaty (1997)

O mapa de risco de inundação para o Município de Ponte Nova, MG, apresenta as áreas de hidrografia coincidindo com as áreas de maior risco de inundação, pois são áreas altamente propícias à inundação, afirmando a precisão do mapeamento. A Figura a seguir mostra a coincidência das áreas de risco de inundação com a hidrografia do Município de Ponte Nova, MG.

As áreas de Risco de Inundação são mapeadas com o intuito principal de proteger e alertar a população sobre tais riscos. Deste modo avaliaram-se as áreas de inundação com as áreas urbanas e edificadas, para saber em que área de risco de inundação encontra-se a população, para alertar a mesma quanto a sua habitação.

Sendo assim foram encontrados que 3,85% da população encontra-se sob a condição de baixo risco de inundação, 96,13% sob condição de médio risco e 0,02% sob a condição de alto risco de inundação. Deste modo a população deve estar sempre alerta com situações de alta precipitação, principalmente pessoas que moram próximo á açudes, lagos e leitos de rios.

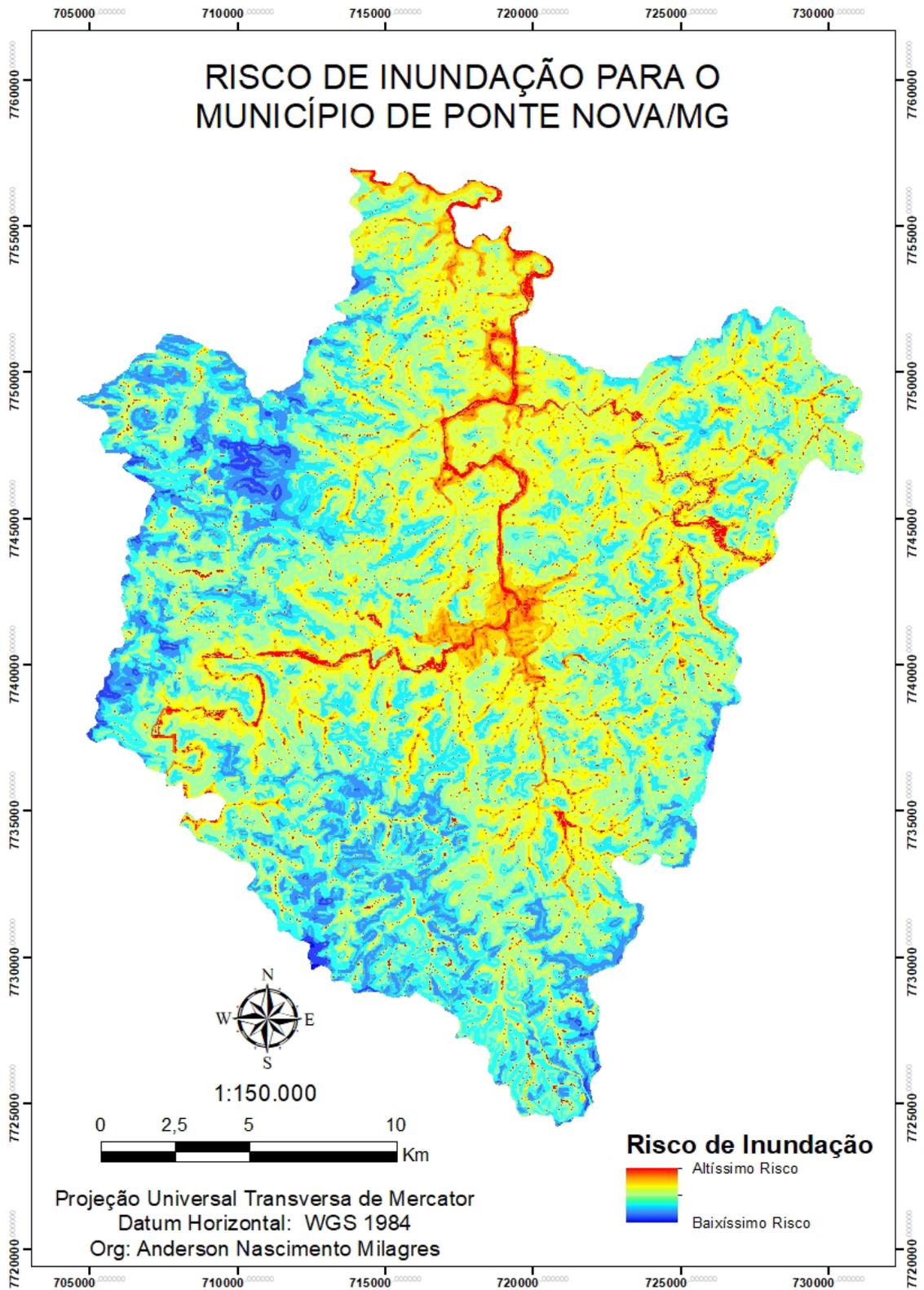


Figura 1 - Mapa de risco de inundação para o Município de Ponte Nova, MG.

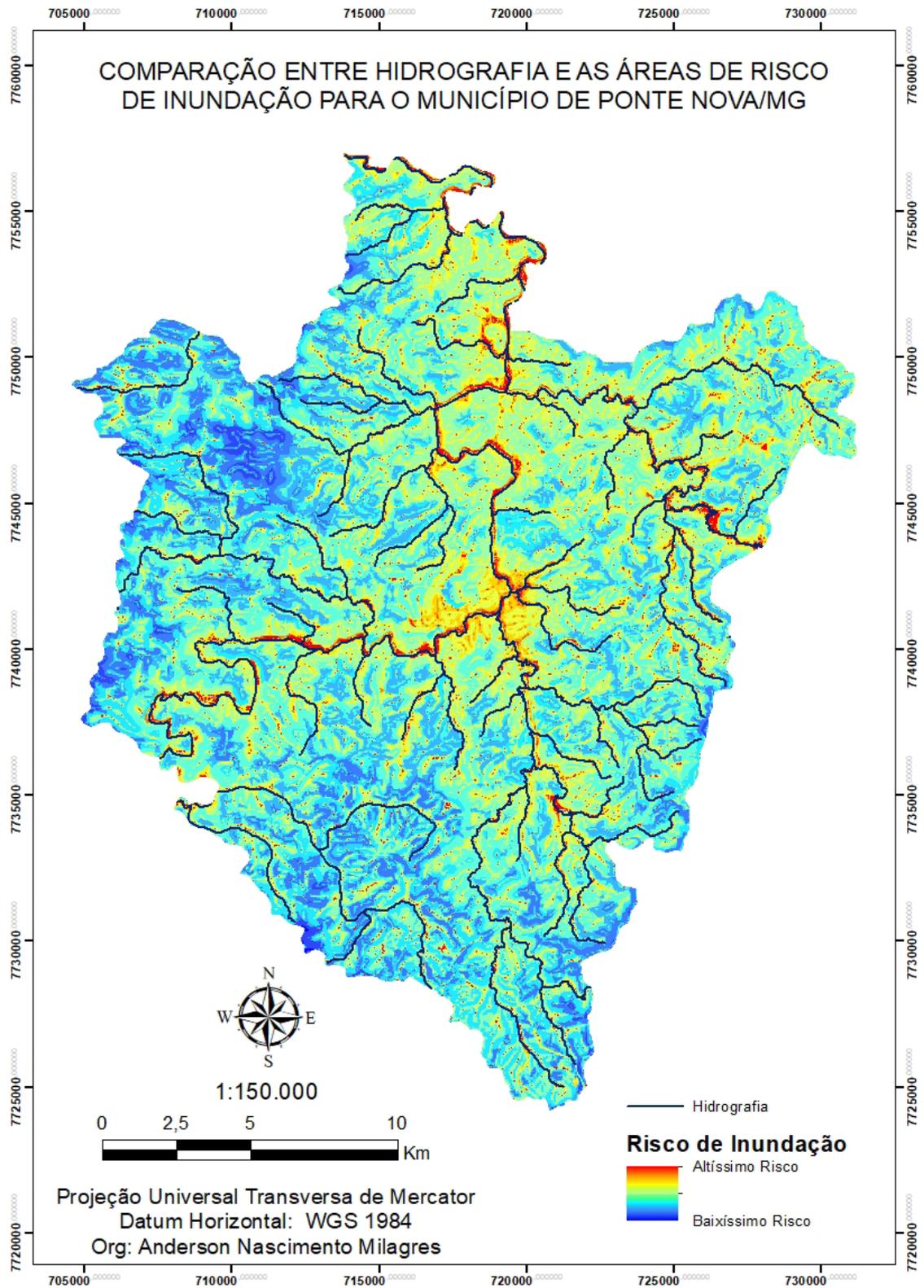


Figura 2 - Comparação da Hidrografia com as áreas de risco de inundação para o Município de Ponte Nova, MG.

4 | CONCLUSÕES

As notas e os pesos encontrados foram satisfatórios (Tabela 1), comprovando a validade do método AHP proposto por Saaty (1997).

O mapeamento de risco de inundação foi preciso, comparando as áreas de risco com o real em campo.

As classes utilizadas para o mapeamento foram sensatas, onde todas tem grande relação com risco de inundação.

O centro do Município de Ponte Nova deve possuir acompanhamento técnico durante as épocas de maiores precipitações, pois se encontra em zonas na sua maioria de médio risco de inundação.

O presente trabalho será de fundamental importância para alertar a população do Município de Ponte Nova.

REFERÊNCIAS

DEFESA CIVIL NACIONAL. **Manual de Desastres**. Brasília: Ministério do planejamento e orçamento, 1996.

ECKHARDT, R. R. **Geração de modelo cartográfico aplicado ao mapeamento das áreas sujeitas às inundações urbanas na cidade de Lajeado/RS**. Porto Alegre, 2008. Dissertação. Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul – UFRGS.

SAATY, T. H. **A Scaling method form priorities in hierarquical structures**. *Journal of Mathematical Psychology*, v.15, n. 3, p. 234-281, 1997.

TUCCI, C. E. M; BERTONI, J. C. **Inundações urbanas na América do Sul**. Ed. dos Autores, 2003.

MUTAGÊNESE DA LEVEDURA *Candida viswanathii* PARA A PRODUÇÃO DE ENZIMAS LIPOLÍTICAS

Luiz Renato Lima Silva Miranda

Universidade Federal do Tocantins, Graduando do curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia, Gurupi – TO

Nayra Morgana Lima De Oliveira

Universidade Federal do Tocantins, Mestrando em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Palmas – TO

Erika Carolina Vieira Almeida

Universidade de Gurupi, Mestre em Biotecnologia, Gurupi - TO

Adriana Augusta Neto

Universidade Federal do Tocantins, Doutorado em Produção Vegetal, Gurupi – TO

Alex Fernando De Almeida

Universidade Federal do Tocantins, Professor Adjunto do curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia, Gurupi – TO

RESUMO: O uso de microrganismos para produção de enzimas, que são utilizadas em diversos setores industriais, é um avanço biotecnológico, que auxilia no desenvolvimento e aprimoramento de técnicas mais complexas, de maneira menos tóxica. As enzimas são biocatalizadores que aceleram a taxa de reações e são altamente versáteis na catálise de vários tipos de reações. As lipases desempenham um papel importante em diversos setores, com vantagens sobre a via sintética. Por serem enzimas encontradas em quase todas as

células vivas, a seleção de microrganismos que aumentem a produção, e possuam lipases mais estáveis e com condições de atuação mais amplas, é fundamental. A utilização de espécies de leveduras do gênero *Candida*, é amplamente difundido nos estudos para produção de lipase, e a espécie *Candida viswanathii* se mostra como promissora para esta síntese. A utilização de mutagênese induzida demonstra ser um método efetivo de aprimoramento de linhagens, frente a necessidade de se aumentar a produção de enzimas, com a seleção de mutantes estrategicamente desenvolvidos. Neste trabalho, foram obtidos 28 mutantes, com a mutação gênica de irradiação UV, onde três cepas melhoradas, CM05, CM23 e CM25 obtiveram maior eficiência comparada a cepa selvagem (186,4%, 159,7%, e 110,12%, respectivamente). A mutagênese induzida ainda mostrou eficiência na segunda mutação, onde a cepa CM05, originou outros dois mutantes, CM30 e CM35, com uma melhora de 108,6% e 148,4%, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: Lipase; Mutagênese, Ultravioleta, Biotecnologia.

MUTAGENESIS OF *Candida viswanathii*
YEAST FOR THE PRODUCTION OF

ABSTRACT: The use of microorganisms to produce enzymes used in several industrial sectors, is a biotechnological advance that helps in the development and improvement of more complex techniques, in a less toxic way. Enzymes are biocatalysts that accelerate the rate of reactions and are highly versatile in the catalysis of various types of reactions. Lipases play an important role in several sectors, with advantages over the synthetic route. Because they are enzymes found in almost all living cells, the selection of microorganisms that increase production, and have more stable lipases and with broader working conditions, is fundamental. The use of yeast species of the genus *Candida* is widely disseminated in lipase production studies, and the species *Candida viswanathii* is shown to be promising for this synthesis. The use of induced mutagenesis proves to be an effective lineage enhancement method, considering the need to increase this production, with the selection of strategically developed mutants. In this work, 28 mutants were obtained, with the gene mutation of UV irradiation, where three improved strains, CM05, CM23 and CM25 obtained higher efficiency compared to the wild strain (186.4%, 159.7%, and 110.12% respectively). Induced mutagenesis still showed efficiency in the second mutation, where the CM05 strain gave two CM30 and CM35 mutants with an improvement of 108.6% and 148.4%, respectively.

KEYWORDS: Lipase, Mutagenesis, Ultraviolet, Biotechnology

INTRODUÇÃO

Atualmente, a biotecnologia se posiciona à frente dos químicos convencionais, devido à crescente necessidade por processos industriais que não ocasionam impactos ambientais. Em razão disso, a demanda por enzimas no mercado vem crescendo, pelo fato de serem ecologicamente mais viáveis, originando mais de 500 indústrias que utilizam essa tecnologia, dentre as quais se destacam as áreas de alimentos, têxtil, papel, saúde humana e animal (MONTEIRO e SILVA, 2009; FEITOSA, 2010).

As enzimas são heteropolímeros complexos formados por aminoácidos unidos covalentemente por ligações peptídicas, e atuam como catalisadores para todos os processos metabólicos, possibilitando assim, a vida. Essa classe especial de proteínas é bastante ativa, versátil e específica, não necessita de altas temperaturas e valores extremos de pH. Seu uso como biocatalisadores é altamente desejável em reações químicas industriais, sendo frequentemente utilizadas em sínteses orgânicas, pois possuem a capacidade de clivar ligações de diferentes substratos, tais como: polissacarídeos, lipídeos, aminoácidos, proteínas, ésteres, entre outros. (OLIVEIRA, 2010; ALMEIDA et al., 2013; GURURAJ et al., 2016)

As enzimas são agrupadas de acordo com suas propriedades catalíticas, sendo divididas em: oxidoredutases, transferases, hidrolases, lipases, isomerases e ligases. Logo, essas classes foram divididas em subgrupos, para especificar o tipo

de reação e a natureza química dos reagentes. De acordo com essas características é definido um código (Enzyme Commission, E.C.), o qual foi padronizado pela *Commission on Enzymes of the International Union of Biochemistry and Molecular Biology* (COSTA, 2016).

As lipases (E.C. 3.1.1.3) pertencem a classe das hidrolases, que clivam ligações do tipo ésteres em substrato lipídico. Em concentrações normais de água essas enzimas clivam moléculas de triacilgliceróis, formando glicerol e ácidos graxos livres. Na presença de solventes orgânicos, as lipases catalisam reações de síntese de triacilgliceróis e outras como transesterificação, aminólise e lactonização, revelando seu potencial para aplicações industriais, que abrange as áreas de aditivos, alimentos, química fina, detergentes, tratamento de águas residuais e farmacêuticas (ALMEIDA, 2012; ALMEIDA et al., 2013; GURURAJ et al., 2016).

Os microrganismos são as fontes de lipase mais viáveis dentro de uma indústria, por apresentarem diversas vantagens em relação a animal e vegetal, como a diversidade metabólica, versatilidade das suas propriedades e pela facilidade da produção em larga escala. Geralmente, os processos industriais que empregam enzimas são relativamente simples, fáceis de controlar, eficientes energeticamente e requerem investimentos de baixo custo, sendo que cerca de 60% das enzimas exploradas industrialmente são de origem fúngica (OLIVEIRA, 2010; ROVEDA et al., 2010; ORLANDELLI et al., 2012; CHOUDHURY e BHUNIA, 2015; MISHARA, 2019).

Diante do grande potencial industrial das enzimas microbianas, pesquisas no desenvolvimento de métodos para aperfeiçoar características de estabilidade, especificidade e atividade da enzima vêm crescendo. A busca por microrganismos que possam produzir enzimas mais adaptadas aos processos industriais é constante e várias técnicas estão disponíveis. A aplicação da irradiação UV como mutagênese física tem sido relatada como um dos melhores métodos para melhorar a produtividade de linhagens, devido a sua capacidade de aumentar a frequência de mutação em até 100 vezes por gene, sem matar excessivamente as células, podendo resultar em linhagens melhoradas (MALA et al., 2001; WINSTON, 2008; MONTEIRO e SILVA, 2009; TAPIA, 2012; CHHAYA e GUPTA, 2018).

Frente a necessidade por novas cepas melhoradas para a produção de enzimas com potencial biotecnológico, este trabalho teve como objetivo promover a mutação da levedura *Candida viswanathii*, utilizando radiação UV, para obter uma linhagem mutante com maior capacidade de catálise enzimática.

MATERIAIS E MÉTODOS

Microrganismo

A linhagem *C. viswanathii* foi mantida no Laboratório de Biotecnologia e

Análise de Alimentos e Purificação de Produtos (LABAP), da Universidade Federal do Tocantins, Campus Universitário de Gurupi-TO. Os cultivos periódicos foram realizados em meio BDA a 28 °C, por 4 dias. A cultura estoque da linhagem foi mantida em geladeira a 4 °C.

Primeira mutagênese aleatória

A exposição à radiação ultravioleta foi realizada em câmara (49,5 cm x 23,5 cm x 27,5 cm, comprimento x largura x altura), contendo uma lâmpada UV (15 W) fixada na parte interna superior (Figura 1).

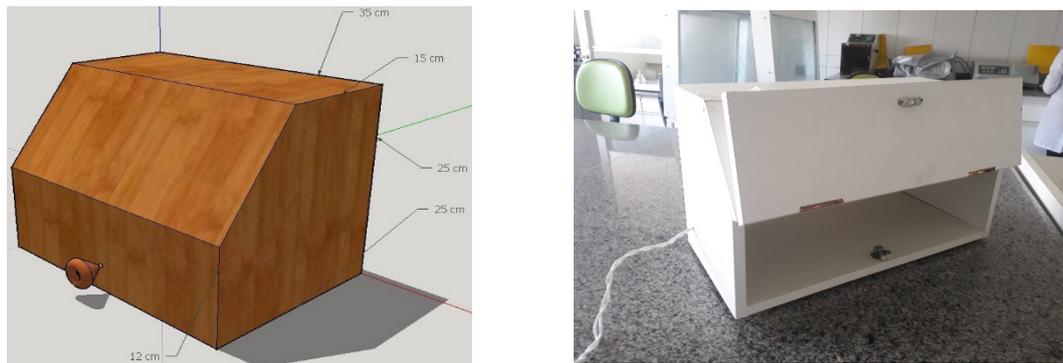


Figura 1 – Câmara utilizada na mutação da linhagem de *Candida viswanathii* com uma lâmpada UV posicionada em seu interior.

A primeira mutagênese foi realizada em fluxo laminar, com 25 mL do inóculo transferido para uma placa de Petri estéril, na concentração celular de 1×10^7 células. mL⁻¹. A placa foi colocada dentro da câmara a uma distância de aproximadamente 23,5 cm de altura da lâmpada UV e submetida à irradiação nos tempos de 0, 5, 10, 15, 35, 45, 55, 75 e 85 segundos. Em todos os tempos, a placa, contendo o meio irradiado, foi agitada manualmente para propiciar a homogeneização da cultura. Para o desenvolvimento das colônias, alíquotas de 1 mL foram retiradas da placa irradiada e inoculadas em placas de Petri por técnica de espalhamento usando o meio Hankin e Anagnostakis (1975).

Segunda mutagênese aleatória

Uma segunda mutação na linhagem de *C. viswanathii* mutante, obtida na etapa anterior, foi realizada submetendo à irradiação UV nos tempos de 120, 140, 160, 180, 240, 280, 320, 340, 360 e 380 segundos. Para o desenvolvimento das colônias, alíquotas de 1 mL foram retiradas da placa irradiada e inoculadas em placas de Petri

por técnica de espalhamento, usando o meio Hankin e Anagnostakis (1975).

Seleção de mutantes

Após os procedimentos de mutagênese, as células foram cultivadas em meio sólido Hankin e Anagnostakis (HANKIN & ANAGNOSTAKIS, 1975), tendo como composição (g.L⁻¹): peptona, 10; NaCl, 5; CaCl₂.2H₂O, 0.1; agar, 20, suplementado com 1% de Tween 20.

Após 5 dias, foram contadas as colônias formadas nas placas e selecionadas aquelas que apresentaram maior tamanho de halo em relação às demais. Os halos foram formados a partir da precipitação de sais de cálcio.

Cultivo em Estado Líquido

O meio líquido foi preparado em duplicata, em frascos de Erlenmeyer de 125 mL contendo 20 mL de meio líquido de Vogel modificado (VOGEL, 1956) acrescido de 1% (m/v) de azeite de oliva, 0,2% (m/v) de extrato de levedura à pH 6,0 e esterilizados a 121 °C, por 15 min. O meio de cultivo foi inoculado com 1 mL de uma suspensão de células (10⁷ células.mL⁻¹) e mantido sob agitação de 210 rpm, a 28 °C por 72 horas.

Determinação da atividade enzimática

A atividade da lipase foi determinada em duplicata, utilizando *p*-nitrofenil palmitato (*p*-NPP) como substrato. O meio reacional utilizado foi composto por 3,8 mg *p*-NPP, solubilizado em 0,5 mL de dimetilsulfóxido (DMSO) e diluído a 0,5 mM com tampão McIlvaine pH 4,0, contendo 0,5% de Triton X-100. A hidrólise do *p*-NPP foi determinada descontinuamente a 40 °C pela liberação do *p*-nitrofenol. Em cada tubo de ensaio adicionou-se 900 µl de meio reacional e pré-incubou-se em banho-maria por 5 min. Em seguida, a reação foi iniciada pela adição de 100 µl da amostra devidamente diluída e foi interrompida com choque térmico (90 °C, 1 min), seguida pela adição de 1 mL de solução saturada de tetraborato de sódio decahidratado. Todos os ensaios enzimáticos foram realizados em duplicata e a leitura da absorbância foi realizada a 410 nm [Coeficiente de extinção molar (ϵ) do pNP: 18676,81 M⁻¹.cm⁻¹]. Os controles foram preparados sem a adição da enzima.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 é apresentada a sobrevivência das colônias de *C. viswanathii*, visto que a porcentagem de sobrevivência celular diminuiu proporcionalmente com o aumento do tempo de exposição. A curva de sobrevivência mostra que o uso da irradiação UV influencia diretamente na taxa de mortalidade das colônias, tendo a

redução na quantidade de células viáveis com o tempo de exposição das colônias a irradiação. O dano causado no DNA depende diretamente do tempo de exposição aos raios UV (SIVARAMAKRISHNAN e INCHAROENSAKDI, 2017).

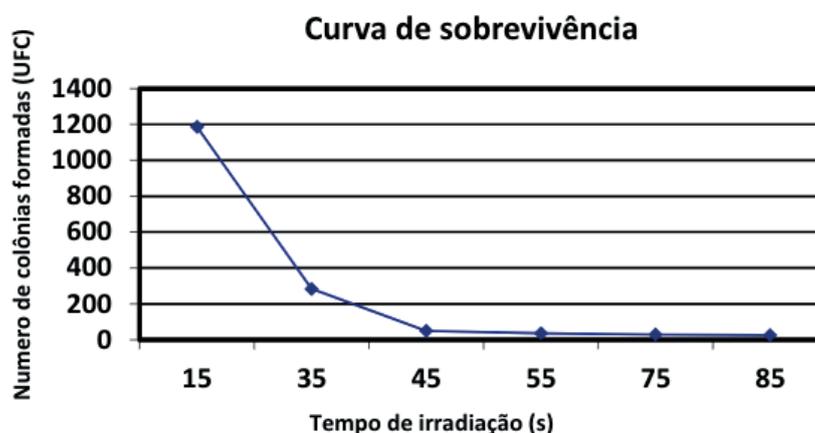


Figura 2. Curva de sobrevivência de *C. viswanathii* submetida a irradiação U.V. em diferentes intervalos de tempo.

A diminuição de células viáveis após exposição à luz UV ocorreu devido à formação de dímeros de timina, afetando assim a replicação do gene e sua expressão. Por ocorrer aleatoriamente no genoma, a maioria dessas mutações é silenciosa e/ou não causam efeitos negativos sobre a função celular, enquanto outras ocorrem em genes essenciais à vida, levando assim a morte celular. Assim, admite-se que a fração de células sobreviventes apresentam um acúmulo de mutações não-letais, mas que possivelmente determinam alterações significativas em seu metabolismo (TAPIA, 2012). Pigatto (2008) demonstrou que a mutagênese de *Xantomonas campestris* proporcionou a seleção de 42 colônias após a irradiação com UV. No estudo realizado por Tapia (2012), utilizando a levedura *Lipomyces starkeyi*, após 40 minutos de irradiação, a fração de sobrevivência dos microrganismos foi de 5%.

Após os procedimentos de mutagênese, as células foram cultivadas em meio sólido Hankin e Anagnostakis (1975). A contagem das colônias formadas nas placas foi realizada após 5 dias de incubação e foram selecionadas aquelas que apresentaram maior tamanho de halo, sendo comparadas entre si. Desta forma, foram isoladas 28 colônias de *C. viswanathii* mutantes (Tabela1).

Colônia	Media Ø do Halo (mm)	Media Ø da Colônia (mm)	Índice enzimático
CM01	17,5	3,0	5,8
CM02	16,0	5,0	3,2
CM03	10,0	3,0	3,3
CM04	18,0	3,0	6,0
CM05	17,5	4,0	4,3

CM06	20,0	4,0	5,0
CM07	19,5	4,0	4,8
CM08	17,5	4,0	4,3
CM09	20,0	3,0	7,6
CM10	13,5	3,0	4,5
CM11	20,0	4,0	5,0
CM12	21,0	5,0	4,2
CM13	23,0	6,0	3,8
CM14	20,0	5,0	4,0
CM15	21,0	4,0	5,2
CM16	20,0	3,0	6,6
CM17	19,0	4,0	4,7
CM18	14,0	3,0	4,6
CM19	14,0	3,0	4,6
CM20	18,0	4,0	4,5
CM21	18,0	4,0	4,5
CM22	16,0	5,0	3,2
CM23	20,0	5,0	4,0
CM24	8,5	3,0	2,8
CM25	18,5	4,0	4,6
CM26	15,5	4,0	3,8
CM27	16,5	5,0	3,3
CM28	16,5	4,0	4,1

Tabela 1. Índice enzimático de linhagens mutantes de *C. viswanathii* crescidas em ágar Hankin-Anagnostakis.

A ocorrência de colônias com maior tamanho de halo dentre os mutantes sugere uma maior eficiência de produção de lipase, podendo ser expresso pelo índice enzimático. As 28 colônias de *C. viswanathii* mutantes selecionadas, onde foram observados tamanho de halo e o índice enzimático, foram cultivadas em meio submersos para verificar a atividade de lipase. Em seguida foi feito um cálculo de atividade relativa comparando a atividade enzimática da linhagem mutante com a linhagem selvagem, sendo obtida pelo seguinte cálculo:

$$\text{Atividade relativa (\%)} = \frac{\text{Atividade mutante} \cdot 100}{\text{Atividade selvagem}}$$

Essa técnica pode resultar em alguns falsos-positivos, pois, o diâmetro das zonas de hidrólise produzidas pela difusão da enzima pode ser em função de sua concentração e não da sua atividade (ALMEIDA, 2012). Assim, foram cultivadas em meio líquido para verificar a produção volumétrica da lipase produzida pelas linhagens mutantes. A maioria das colônias mutantes apresentaram um aumento na sua atividade (Tabela 2), e isto revela que a mutação induzida por irradiação UV ocasionou danos positivos ao DNA da linhagem. Resultados semelhantes também

foram observado nos trabalhos de Irfan et al., (2011), onde obteve mutantes de *Aspergillus niger* capazes de aumentar em duas vezes a produção de CMCase e em três vezes para a FPase quando comparada com a linhagem parental. No estudo realizado por Yin et al., (2016), a irradiação foi aplicada em *Fusarium oxysporum*, e obteve um aumento na atividade enzimática de pectinase em 73,6% a mais que a cepa original.

As linhagens mutantes de *C. viswanathii* CM05, *C. viswanathii* CM23 e *C. viswanathii* CM25 apresentaram maior atividade enzimática ($6,9\pm 0,5$ U.mL⁻¹, $6,2\pm 0,8$ U.mL⁻¹, $4,8\pm 0,1$ U.mL⁻¹, respectivamente) em relação a linhagem selvagem, CMnormal, ($2,4\pm 0,1$ U.mL⁻¹).

Colônia	Atividade enzimática (U.mL ⁻¹)	Atividade relativa (%)
CMnormal	2,4±0,1	100,0
CM01	2,6±0,1	109,1
CM02	2,6±0,2	109,1
CM03	4,8±0,1	199,2
CM04	2,2±0,2	94,0
CM05	6,9±0,5	286,4
CM06	3,0±0,4	127,7
CM07	2,8±0,3	119,4
CM08	2,0±0,1	86,8
CM09	2,4±0,1	99,5
CM10	2,3±0,1	95,3
CM11	2,4±0,2	100,1
CM12	3,4±0,0	142,5
CM13	4,7±0,2	197,3
CM14	3,2±0,3	135,6
CM15	3,3±0,1	140,0
CM16	3,8±0,2	160,9
CM17	3,1±0,2	129,1
CM18	3,7±0,1	154,5
CM19	3,3±0,8	137,2
CM20	4,5±0,2	189,0
CM21	4,0±0,4	168,0
CM22	4,6±0,2	191,6
CM23	6,2±0,8	259,7
CM24	3,3±0,1	139,3
CM25	5,0±0,5	210,2
CM26	4,8±0,3	201,0
CM27	4,9±0,6	203,9
CM28	4,8±0,1	199,3

Tabela 2: Atividade enzimática (U.ml⁻¹) e atividade relativa (%) das cepas que sofreram mutagênese e tiveram um alto índice enzimático em comparação com a cepa selvagem.

Logo após a primeira mutação, foi realizada uma segunda mutação utilizando a linhagem mutante de *C. viswanathii* CM05, que obteve a maior quantidade de

enzimas produzidas após o primeiro cultivo submerso.

Na Figura 3 observa-se a curva de sobrevivência da linhagem *C. viswanathii* CM05.

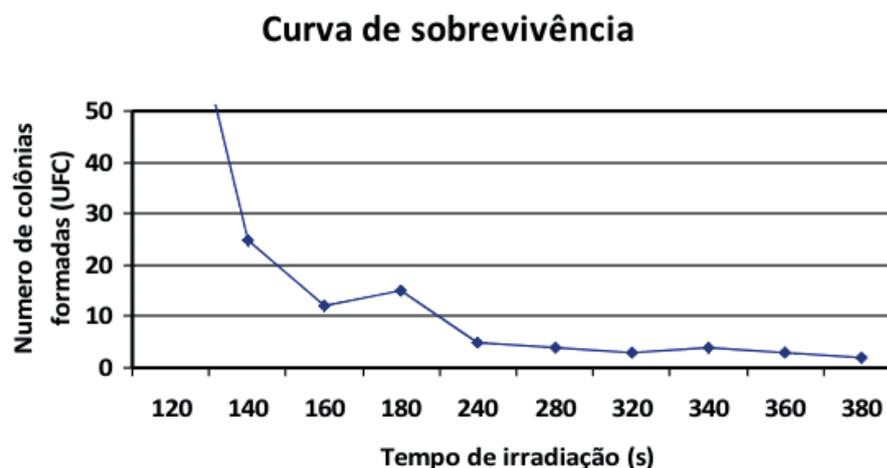


Figura 3. Curva de sobrevivência da linhagem de *C. viswanathii* mutante CM05 submetida à irradiação U.V. em diferentes intervalos de tempo.

Após a realização da segunda mutagênese, as células foram cultivadas em meio sólido Hankin e Anagnostakis (1975), e após 5 dias de incubação, as colônias com maior índice enzimático foram selecionadas para os cultivos em estado líquido. Nesta etapa foram selecionadas 8 colônias de *C. viswanathii* mutantes (Tabela 3).

Colônia	Media Ø do Halo (mm)	Media Ø da Colônia (mm)	Índice enzimático
CM29	12,5	3,0	4,0
CM30	11,0	3,0	3,6
CM31	11,0	2,0	5,5
CM32	10,5	3,0	3,5
CM33	8,4	4,0	2,1
CM34	10,0	3,0	3,3
CM35	11,5	3,0	3,8
CM36	8,0	3,0	2,6

Tabela 3. Índice enzimático de linhagens de *C. viswanathii* da segunda mutação crescidas em ágar Hankin-Anagnostakis.

As colônias mutantes de *C. viswanathii* foram cultivadas em meio submersos para verificar a atividade de lipase (Tabela 4), e todas as linhagens mutantes apresentaram maior atividade enzimática comparada com a linha selvagem. As linhagens mutantes CM30, CM35 foram as que exibiram maior atividade lipase ($12,100 \pm 0,658 \text{ U.mL}^{-1}$ e $14,4 \pm 0,9 \text{ U.mL}^{-1}$, respectivamente) em relação a linhagem selvagem. A nova linhagem mutante CM35 obteve ainda, maior atividade que a linhagem mutante CM05 ($12,6 \pm 0,3 \text{ U.mL}^{-1}$), que sofreu a primeira mutagênese, o que

indica que esta segunda mutação realizada sobre a primeira cepa mutante, obteve efeitos positivos sobre alteração do DNA.

Colônia	Atividade enzimática (U.mL-1)	Atividade relativa (%)
CMnormal	5,8±0,5	100,0
CM29	8,2±0,4	142,2
CM30	12,1±0,6	208,6
CM31	10,3±0,6	178,9
CM32	8,5±0,2	147,9
CM33	6,8±0,3	118,4
CM34	8,0±0,4	138,6
CM35	14,4±0,9	248,4
CM36	7,0±0,9	122,2
CM05	12,6±0,3	217,2

Tabela 4. Atividade enzimática de linhagens de *C. viswanathii* da segunda mutação.

CONCLUSÃO

O método descrito nesse trabalho usou a técnica de mutagênese aleatória por irradiação UV, para obter uma linhagem mutante de *C. viswanathii* com maior eficiência na produção de lipase.

Os experimentos realizados mostraram que dentre os 28 mutantes selecionados, 3 aumentaram sua atividade enzimática significativamente quando comparado com a cepa selvagem, sendo a linhagem CM05, CM23 e CM25 as linhagens mutantes com maior eficiência na sua atividade, obtendo um aumento de aproximadamente 86,4%, 59,7%, e 10,12% na sua atividade, respectivamente, comparada com a atividade da *C. viswanathii* selvagem.

Esta técnica, também se mostrou eficiente na segunda mutação realizada, onde a linhagem CM05 sofreu nova mutação por irradiação UV, obtendo linhagens melhoradas CM30 e CM35, representando um aumento na atividade de 8,6% e 48,4% respectivamente, comparados com a atividade da cepa selvagem.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. F. **Produção, purificação e propriedades bioquímicas de lipase ácida de *Candida viswanathii***. 2012. Tese (Doutorado em Microbiologia aplicada) – Instituto de biociências de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, São Paulo.

ALMEIDA, A. F.; TAUKE-TORNISIELO, S. M.; CARMONA, E. C. **Acid Lipase from *Candida viswanathii* Production**, Biochemical Properties, and Potential Application. *BioMed Research International*, vol. 2013, p. 10 – 10, 2013.

CHHAYA, Urwish; GUPTE, Akshaya. Studies on a better laccase-producing mutant of *Fusarium incarnatum* LD-3 under solid substrate tray fermentation. *3 Biotech*, v. 9, n. 3, p. 100, 2019.

CHOUDHURY P.; BHUNIA B. **Article industrial application of lipase: A review.** Biopharm Journal. Agartala, v. 1, n. 2, p. 41-57, 2015.

COSTA, E. C. Bioprospecção de fungos endofíticos potencialmente produtores de enzimas lipolíticas aplicáveis na área de alimentos. 2016. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Universidade Federal de Minas Gerais – Belo Horizonte, 2016.

FEITOSA, I. C.; BABOSA, P. M. J.; ORELLANA, L. S. A.; SOARES, F. M. C. **Produção de lipase por meio de microrganismos isolados de solos com histórico de contato com petróleo.** Acta Scientiarum. Technology, vol. 32, p. 27 - 31, 2010.

GURURAJ, P.; RAMALINGAM, S.; DEVI, G. N.; GAUTAM, P. **Process optimization for production and purification of a thermostable organic solvent tolerant lipase from Acinetobacter sp. AU07.** Brazilian Journal of Microbiology, v. 47, p. 647–657, 2016

HANKIN, L. ANAGNOSTAKIS, S. G. **The use of solid media for detection of enzyme production by fungi.** Mycology, v. 67, p. 597-607, 1975.

IRFAN, M.; JAVED, J.; SYED, O. **UV mutagenesis of Aspergillus niger for enzyme production in submerged fermentation.** Pak. J. Biochem. Mol. Biol. v. 44, n. 4, p. 137 – 140, 2011.

MALA, J. G. S.; KAMINI, N. R.; PUVANAKRISHNAN R. **Strain improvement of Aspergillus niger for enhanced lipase production.** J. Gen. Appl. Microbiol, India, v. 47, p. 181–186, 2001.

MISHRA, Rashmi et al. Endophytic Fungi and Their Enzymatic Potential. In: Advances in Endophytic Fungal Research. Springer, Cham, 2019. p. 283-337.

MONTEIRO, V. N.; SILVA, R. N. Aplicações industriais da biotecnologia enzimática. Pcessos Quimicos. v. 3, n.5, 2009.

OLIVEIRA, R. L. Avaliação do potencial biotecnológico de fungos endofíticos de Piper hispidium. 2010. 95f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia e Recursos Naturais) – Universidade do Estado do Amazonas – Manaus, 2010.

ORLANDELLI, R. C. et al. Enzimas de interesse industrial: Produção por fungos e aplicações. Saúde e Biol., v.7, n.3, p.97-109, 2012.

PIGATTO, G. **Irradiação UV em Xanthomonas campestris pv. campestris visando a produção da goma xantana.** Dissertação de mestrado, Universidade Estadual Paulista. 2008

ROVEDA, M.; HEMKEMEIER, M.; COLLA, L. M. **Avaliação da produção de lipases por diferentes cepas de microrganismos isolados em efluentes de laticínios por fermentação submersa.** Ciênc. Technol. Aliment, vol. 30, p. 126 -131, 2010.

TAPIA, E. V. **Melhoramento genético da levedura oleaginosa lipomyces starkeyi por mutagênese aleatória, visando a produção de biocombustíveis de segunda geração.** 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Faculdade de engenharia química, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.

WINSTON, Fred. EMS and UV mutagenesis in yeast. **Current protocols in molecular biology**, v. 82, n. 1, p. 13.3 B. 1-13.3 B. 5, 2008.

Yin, L.B.; Zhang, C.F.; Xia, Q.L.; Yang, Y.; Xiao, K.; Zhao L.Z. **Enhancement of pectinase production by ultraviolet irradiation and diethyl sulfate mutagenesis of a Fusarium oxysporum isolate.** Genetics and Molecular Research, v. 15, n. 3, 2016.

A RELAÇÃO ENTRE PROGRAMAS DE DESENVOLVIMENTO DE LIDERANÇA E O CAPITAL SOCIAL NAS ORGANIZAÇÕES

Bruno Henriques Watté

Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
Florianópolis – Santa Catarina

Márcio Vieira de Souza

Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
Florianópolis – Santa Catarina

RESUMO: O presente estudo, reportado na forma de um artigo completo, teve por objetivo pesquisar o estado da arte a respeito da relação entre programas de desenvolvimento de liderança e a construção e aprimoramento do capital social nas organizações, a partir de uma revisão integrativa. Foram identificados inicialmente 105 artigos que se tornaram 18 após a aplicação dos critérios de exclusão. Ainda que os artigos mais antigos tivessem um interesse inicial na discussão da relação entre capital humano e capital social, há consenso de que os modelos atuais são integradores: capital humano é entendido como uma espécie de premissa para o capital social. Da pesquisa, é possível construir um entendimento de que o capital social nas organizações funciona como uma espécie de mediador entre os programas de desenvolvimento de liderança e resultados efetivos de negócio. Adicionalmente, identifica-se três diferentes níveis de capital social, que geram diferentes contribuições para o negócio. Ajustar o design de programas de

desenvolvimento de liderança para que se desenvolva o nível pretendido de capital social é um desafio das organizações. A abordagem em rede para a compreensão dessa relação é mais recente e promissora, apresentando vasto campo de pesquisa à frente.

PALAVRAS-CHAVE: Liderança, Capital Social, Desenvolvimento de Liderança.

RELATIONSHIP BETWEEN LEADERSHIP DEVELOPMENT PROGRAMS AND SOCIAL CAPITAL IN ORGANIZATIONS

ABSTRACT: The present study, reported as a full paper, aimed to investigate the state of the art regarding the relationship between leadership development programs and the creation and enhancement of social capital in organizations, based on an integrative review. We initially identified 105 articles that became 18 after applying the exclusion criteria. Although the older articles have an interest in discussing the relationship between human and social capital, there is a consensus that current models are integrative: human capital is understood as a premise for social capital to flourish. Yet, it is possible to build an understanding that social capital in organizations works as a kind of mediator between leadership development programs and effective business outcomes.

Additionally, three different levels of social capital were identified, which generate different contributions to the business. Adjusting the design of leadership development programs to develop the desired level of social capital is a challenge for organizations. The network approach to understanding this relationship is more recent and promising, presenting a vast field of research ahead.

KEYWORDS: Leadership, Social Capital, Leadership Development.

1 | INTRODUÇÃO

Liderança é um conceito que desperta grande interesse, tanto da comunidade acadêmica quanto da sociedade em geral, especialmente em função da imagem idealizada de grandes conquistas empresariais, militares, políticas e religiosas inspiradas por grandes líderes (Yukl, 2013). No meio empresarial, o entendimento de que liderança pode ser vista como uma fonte de vantagem competitiva sustentável tem elevado significativamente o nível de interesse no tema e a busca por melhores formas de promover seu desenvolvimento (Day, 2000)

Tradicionalmente, os estudos sobre desenvolvimento de liderança estiveram concentrados no aprimoramento das competências do líder, a partir da abordagem de liderança entendida em nível individual. Mais recentemente, uma abordagem complementar e mais coletiva para o desenvolvimento de liderança passou a ser proposta, compreendendo liderança como um complexo processo social que precisa engajar a todos na organização, e não apenas os líderes (Day, 2000). Atualmente, parece haver certo consenso de que o desenvolvimento de liderança está relacionado tanto ao aprimoramento do capital humano, com foco nas competências intrapessoais do indivíduo, quanto do capital social dos indivíduos e das organizações, com foco nas competências interpessoais (Hartley & Hiskman, 2003).

O conceito de capital social surgiu no campo das ciências sociais, no contexto das relações entre as pessoas em comunidade (Putnam, 2011). Sua utilização nas organizações passou a ser proposta mais recentemente, em especial a partir do artigo seminal de Nahapiet e Ghosral (1998). Desde então, diversas definições foram apresentadas para o constructo, mas todas convergindo para o entendimento de que o surgimento de capital social pressupõe a existência de redes de relacionamento entre os indivíduos, de que há valiosos recursos incorporados a essas redes, e que esses recursos só estão acessíveis àqueles que a elas pertencem (Adler & Kwon, 2002; Cohen & Prusak, 2001).

É possível identificar diversos antecedentes à construção e aprimoramento do capital social nas organizações como, por exemplo, a prática efetiva da liderança (Minckler, 2014), o design organizacional (Swensen et al., 2016), ou a implementação de programas de desenvolvimento de liderança (Roberts & Coghlan, 2011). Mas vale notar que programas de desenvolvimento de liderança estão na gênese de todas essas alternativas. Desta forma, buscar o melhor entendimento da relação existente

entre programas de desenvolvimento de liderança e o aprimoramento do capital social das organizações e é um campo de pesquisa relevante. Day et al (2014) reforçam essa relevância afirmando que é necessário dar maior atenção a aspectos coletivos da liderança e que o foco na abordagem de redes é “especialmente apropriado para se considerar em futuros estudos de desenvolvimento de liderança” (p. 79).

Desta forma, o objetivo do presente estudo é entender o estado da arte na literatura científica sobre a relação existente entre programas de desenvolvimento de liderança e a construção e o aprimoramento do capital social nas organizações. Ou seja, se quer identificar o nível mais atualizado de desenvolvimento e de discussão a respeito desta temática. Alinhada a esse objetivo, a questão de pesquisa que norteará o artigo é: qual o atual estágio de entendimento científico a respeito da relação entre programas de desenvolvimento de liderança e a construção e o aprimoramento do capital social nas organizações?

2 | METODOLOGIA

A metodologia de pesquisa utilizada foi a revisão integrativa, com base na definição proposta por Broome: “um método de revisão que sumariza a literatura teórica e empírica passada, de modo a prover um entendimento mais compreensivo de um fenômeno particular” (as cited in Whitemore & Knafl, 2005, p. 546). Ainda que concisa, essa definição é abrangente e ressalta alguns aspectos importantes da metodologia. Inicialmente sua flexibilidade, ao viabilizar a incorporação tanto de estudos teóricos quanto empíricos, experimentais e não-experimentais. Ela evidencia ainda o poder da revisão integrativa em produzir uma síntese sobre o passado da pesquisa a respeito do tema em estudo, que pode se tornar compreensiva e apontar o estado da arte a respeito do fenômeno, ao ser conduzida com o devido rigor.

Quando desenvolvida em alto nível de rigor metodológico, a revisão integrativa se torna também reproduzível. Para que esse nível de performance seja alcançado, Botelho, Cunha e Macedo (2011) propõem uma sequência de seis etapas a saber: 1) identificação do tema e seleção da questão de pesquisa; 2) estabelecimento dos critérios de inclusão e exclusão; 3) identificação dos estudos pré-selecionados e selecionados; 4) categorização desses estudos; 5) análise e interpretação dos resultados; 6) apresentação da síntese do conhecimento.

A estratégia de busca concentrou-se nas bases de dados *SCOPUS* e *WEB OF SCIENCE*. Para a definição das palavras-chave utilizadas, realizou-se uma pesquisa prévia no Google Acadêmico, de modo a se identificar os temas mais frequentemente associados ao aprimoramento do capital social das organizações e sua relação com programas de desenvolvimento de liderança. A pesquisa apontou para as palavras-chave “*leadership development*” e “*social capital*”, associadas aos termos “*development*”, “*building*”, “*creation*” e “*enhancement*”. Do ponto de vista do

recorte temporal, como objetivo era identificar o estado da arte da literatura, a busca concentrou-se na produção científica realizada nos últimos 10 anos.

Para a definição dos critérios de exclusão, foi utilizada a mesma estratégia realizada na definição das palavras-chave. Na pesquisa prévia realizada ficou evidente que uma grande parte da produção científica sobre o aprimoramento do capital social se referia a trabalhos realizados em contextos distintos do ambiente organizacional, tais como em estudos vinculados a comunidades ou sociedades, em periódicos relacionados às ciências sociais. Como o objetivo deste estudo está vinculado ao ambiente organizacional, foram excluídos do escopo todos os artigos relacionados ao contexto das ciências sociais e da liderança comunitária. Adicionalmente, do ponto de vista do tipo de publicação, optou-se por restringir a pesquisa a artigos científicos publicados em “*journals*”, adicionando aos critérios de exclusão os livros completos, capítulos de livros e trabalhos em anais. A exclusão baseou-se no fato de que essas publicações não são submetidas à revisão por pares, o que pode representar uma limitação do ponto de vista de sua qualidade.

Uma vez realizada a busca e aplicados os critérios de exclusão de tempo e tipo de publicação, seguiu-se com a leitura dos títulos, palavras-chave e resumo dos artigos pré-selecionados, de modo a garantir sua adequação aos critérios de exclusão do conteúdo (foco no ambiente organizacional). Essa leitura produziu uma lista final de artigos, que foram lidos na íntegra. Após sua leitura integral, mais algumas exclusões foram necessárias para se chegar à lista final de artigos categorizados, analisados e incluídos na matriz de síntese.

A matriz de síntese foi utilizada para garantir a eficácia desejada para o processo de categorização e análise dos textos. Segundo Botelho, Cunha e Macedo (2011) a matriz de síntese tem por objetivo “a extração e organização dos dados de revisão da literatura... e proteger o pesquisador de erros durante a análise” (p. 131). Segundo os autores, não existe uma matriz certa ou errada, mas sim a matriz que permite a cada pesquisador realizar o melhor processo de categorização e análise das informações. A matriz de síntese desenvolvida no presente estudo reuniu as seguintes informações de cada um dos artigos: Método de Pesquisa, País da Pesquisa, Questão de Pesquisa, Principais Contribuições, Definição de Capital Social, Relação entre capital social e programas de desenvolvimento de liderança, Resultados (*Outcomes*) do Capital Social, Sugestão de Pesquisa Futura e Conclusão do Artigo.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A busca realizada nas bases, a partir das palavras-chave selecionadas, resultou numa lista inicial de 105 publicações, sendo 65 oriundas da base *SCOPUS* e 40 da base *WEB OF SCIENCE*. Desse total, 23 eram duplicados, 16 possuíam data de publicação anterior a 2007 e 13 não haviam sido publicados em *journals*. A avaliação

dos títulos, palavras-chave e resumo dos 53 artigos pré-selecionados permitiu a identificação daqueles que efetivamente estavam relacionados ao ambiente organizacional e não a outros contextos tais como o desenvolvimento de capital humano, carreira ou liderança comunitária. Feita esta exclusão, restaram 18 artigos selecionados para a leitura na íntegra. A elevada redução no número de artigos durante a exclusão relacionada ao contexto das pesquisas confirmou a hipótese inicial de que uma grande parte da literatura disponível sobre o capital social está vinculada ao campo das ciências sociais.

Uma análise inicial dos 18 artigos finais, possibilitou a identificação de algumas características relevantes a seu respeito. Quanto ao ano de publicação, 1/3 deles foi produzido nos últimos dois anos, reforçando a percepção de recência na pesquisa sobre o tema. Quanto à origem das publicações, ainda que doze delas tivessem seu foco nos EUA, as outras seis (1/3) possuem origem em países tão diversos quanto Inglaterra, Noruega, Suécia, Alemanha e Jordânia, salientando o interesse global pelo tema. Quanto à área do conhecimento, os artigos estavam distribuídos em revistas de áreas tão distintas quanto administração, psicologia, educação e ciências da computação, o que ilumina a natureza interdisciplinar do fenômeno.

Uma leitura cronológica dos artigos selecionados permitiu a construção de um entendimento inicial sobre a forma como os estudos a respeito do capital social e sua relação com programas de desenvolvimento de liderança evoluíram ao longo dos últimos dez anos. Nos artigos mais antigos percebe-se uma intenção dos autores em demonstrar que a atenção dispensada ao capital humano (competências individuais e intrapessoais do líder) nos programas de desenvolvimento de liderança já não era mais suficiente para lidar com a crescente complexidade e ambiguidade do contexto empresarial (Edmonstone, 2011; McCallum & O'Connell, 2009). Posteriormente, os artigos passaram a se interessar pela relação existente entre o desenvolvimento do capital humano e do capital social, convergindo para um entendimento de que, para o capital social se desenvolver plenamente, é necessário um esforço prévio no desenvolvimento das competências intrapessoais dos indivíduos (Roberts & Coghlan, 2011; Roberts & Roper, 2011).

A seguir, observou-se um interesse no entendimento de como se dá a criação ou aprimoramento do capital social das organizações, quer seja através do design e implementação de programas formais de desenvolvimento de liderança (Galli & Muller-Stewens, 2012; Espedal, Gooderham & Stensaker, 2013; Leitch & McMullan, 2013), da atuação da liderança no dia a dia da organização (Minckler, 2014) ou de intervenções no design organizacional (Swensen et al., 2016). Importante destacar que alguns desses estudos possuíam interesse específico na forma como o aprimoramento do capital social poderia contribuir para a criação ou compartilhamento do conhecimento (Masadeh, Maqableh & Karajeh, 2014; Stensaker, & Gooderham, 2015). Mais recentemente, nota-se um crescimento do interesse na abordagem de redes para a compreensão da relação entre o capital social e programas de

desenvolvimento de liderança (Cullen-Lester, Maupin, & Carter, 2017; Cullen-Lester, Woehler, & Willburn, 2016; Hoppe & Reinelt, 2010)

Concluída a análise inicial do conjunto de artigos, uma avaliação pormenorizada dos estudos permitiu aglutinar a discussão dos resultados em três grandes blocos temáticos. No primeiro bloco foi proposta uma discussão a respeito da definição de capital social, seus diferentes tipos e gradações. No segundo bloco produziu-se uma discussão sobre as diferentes formas de se construir ou aprimorar o capital social, os resultados esperados com esse aprimoramento e as práticas de desenvolvimento de liderança mais adequadas para cada objetivo. No terceiro bloco, a discussão foi concentrada na abordagem de redes para o aprimoramento do capital social. Para finalizar a discussão dos resultados, um modelo-resumo do estado da arte da literatura sobre a relação entre a construção e o aprimoramento do capital social e programas de desenvolvimento de liderança é proposto.

3.1 Capital social: definição, dimensões e gradações

Ainda que diversas definições para capital social tenham sido apresentadas nos diferentes estudos, apenas um propôs uma definição própria. Segundo Swensen et al (2016), “capital social é a boa vontade, confiança e interconexão disponível para organizações que surge da capacidade dos empregados de trabalhar juntos, com propósito” (p. 26). Em todos os demais são citadas diferentes definições para capital social, propostas por autores anteriores, com destaque para a definição proposta por Nahapiet e Ghoshal (1998), que originalmente propuseram a abordagem de capital social no contexto das organizações. Importante destacar que, ainda que existam diferenças nas definições citadas, elas apresentam algumas características em comum, que podem ser consideradas os pilares do conceito: 1) capital social são recursos (também mencionados como boa vontade, qualidade ou ativos); 2) que são baseados, incorporados ou estão disponíveis para os participantes da rede (também mencionada como conexões, relações sociais ou estrutura social); 3) e que viabilizam, facilitam ou favorecem a cooperação (também mencionada como ações coletivas, trocas de conhecimento)

Outra discussão relevante a respeito do conceito de capital social está relacionada a sua estruturação. A grande maior parte dos estudos corrobora a proposta feita por Nahapiet e Ghoshal (1998) de que o capital social é composto por três diferentes dimensões: a estrutural, a relacional e a cognitiva. A dimensão estrutural diz respeito ao estabelecimento das conexões entre os indivíduos, à formação das redes de relacionamento e suas principais características tais como a quantidade de conexões, densidade e diversidade. Essa é uma dimensão fundamental de análise, pois sem ela a própria definição de capital social estaria prejudicada. Já a dimensão relacional diz respeito, essencialmente, à qualidade das relações existentes. Para que os recursos disponíveis na rede possam ser efetivamente acessados por seus participantes é fundamental que nessas conexões estejam presentes elementos de

respeito e confiança mútua, que garantam o nível adequado de segurança emocional para que o compartilhamento e a troca floresçam. Por fim, a dimensão cognitiva, também relacionada à qualidade das conexões, está vinculada à existência de uma visão de futuro ou valores compartilhados entre os membros da rede, que viabilizam um alto nível de reflexão a respeito da própria rede e à construção conjunta de significado (Roberts & Coghlan, 2011; Roberts & Roper, 2011; Galli & Muller-Stewens, 2012; Espedal, Gooderham, & Stensaker, 2013).

Dois estudos sugerem ainda que as diferentes dimensões do capital social nas organizações correspondem a diferentes gradações ou níveis, que evoluiriam de forma sequencial a partir da aplicação de diferentes ferramentas de desenvolvimento, e que proporcionariam níveis também diferenciados de resultados de negócio. Galli e Muller-Stewens (2012) afirmam que a dimensão estrutural está relacionada a um estágio inicial de desenvolvimento do capital social, que pode evoluir para o nível relacional e buscar o nível máximo de desenvolvimento ao atingir o nível cognitivo. Segundo eles, diferentes ferramentas e práticas de desenvolvimento de liderança trariam diferentes contribuições em cada uma dessas evoluções. Numa abordagem semelhante, Weibler e Rohn-Endres (2010) afirmam que o nível de capital social da rede evolui desde um estágio inicial onde há diálogos concentrados em conversas amigáveis ou sociáveis, depois avançam para conversas mais duras, na sequência para diálogos reflexivos até que atingem o pico do capital social ao se concentrarem em “diálogos generativos”, que são, segundo eles, sinônimo de liderança.

3.2 Desenvolvimento e resultados (outcomes) do capital social

Diversos autores apontam a dificuldade em se estabelecer uma vinculação empírica entre a prática da liderança ou a implementação de programas desenvolvimento de liderança e resultados efetivos de negócios nas organizações (Hartley & Hiskman, 2003). Isso se deve à enorme complexidade em se isolar essas iniciativas das inúmeras outras variáveis de gestão que potencialmente influenciam nos resultados de negócio. Constata-se também certa contradição entre a conclusão acima e o fato de as empresas continuarem a investir montantes cada vez mais significativos de recursos no desenvolvimento de suas competências de liderança (Swensen et al., 2016). Galli e Muller-Stewens (2012) chegam a ironizar, afirmando que a maioria das empresas investe em desenvolvimento de liderança por “ato de fé”.

Os artigos selecionados nesta revisão permitem enxergar o capital social das organizações ocupando um espaço nessa equação. Por um lado, diversos autores demonstram teórica e empiricamente que práticas e programas de desenvolvimento de liderança contribuem objetivamente para o surgimento e aprimoramento do nível do capital social. Na outra ponta, há também diversos artigos que vinculam diferentes níveis de capital social a *outcomes* (resultados) efetivos de negócio. Desta

forma, seria possível apontar ou entender o nível de capital social das organizações como uma espécie de mediador entre as práticas de liderança, ou programas de desenvolvimento de liderança, e resultados concretos de negócio.

No que se refere à sua construção ou aprimoramento, é possível identificar pelo menos três diferentes antecedentes para o capital social nas organizações. Minckler (2014) aponta que a prática de liderança pela área de gestão da escola contribui objetivamente para elevação do capital social entre os professores. Segundo ela, para que o capital social floresça, a liderança tem um papel decisivo em construir as condições estruturais e culturais internas. Dentre essas condições destacam-se o estímulo à alta performance, à construção de uma visão comum e ao desafio intelectual. Swensen et al (2016) demonstram a influência do design organizacional no aprimoramento do capital social. O estudo, realizado numa grande empresa do segmento hospitalar nos EUA, demonstrou que decisões organizacionais relevantes como uma visão de liderança centrada no cuidado do paciente, o estímulo à liderança colaborativa e a implementação de processos igualitários de seleção de líderes contribuem de maneira significativa para elevação do nível de capital social.

Mas o antecedente mais amplamente citado para a formação e aprimoramento do capital social nas organizações foram programas de desenvolvimento de liderança. Isso é compreensível na medida em que mesmo a prática de liderança ou as decisões de design organizacional mencionados acima têm como premissa a existência de uma liderança eficaz, decorrente de um processo anterior de formação e desenvolvimento. Dos 18 artigos finais, 11 tem como foco de atenção a relação existente entre o design e/ou a implementação de programas de desenvolvimento de liderança e a formação ou aprimoramento do capital social nas organizações. A Tabela 1 resume as principais constatações de cada um desses 11 estudos:

ARTIGO	RELAÇÃO ENTRE LDP (Programas de Desenvolvimento de Liderança) E APRIMORAMENTO DO CAPITAL SOCIAL
CULLEN-LESTER, MAUPIN & CARTER, 2017	Propõe um modelo de integração entre o desenvolvimento do capital humano e do capital social. Para que indivíduos construam e gerenciem suas redes de relacionamento, é fundamental que eles tenham os conhecimentos e habilidades previamente desenvolvidos
DUGUAY, LOUGHEAD & MUNROE-CHANDLER, 2016	Conclui, a partir de um estudo quantitativo, que a implementação de LDP em atletas eleva o nível de capital social e estimula liderança compartilhada entre boa parte do time
EDMONSTONE, 2011	Artigo apresenta 12 sugestões para o design de LDPs, com o objetivo específico de elevar o nível de capital social das organizações.
ELKINGTON et al, 2017	Avaliação de especialistas globais em LDP aponta o desenvolvimento do capital social como uma prioridade dos programas mais recentes.
ESPEDAL, GOODERHAM & STENSAKER, 2013	Importante se levar em conta aspectos culturais e contextuais no design de LDP's, para que se atinja os resultados esperados de aprimoramento do capital social
GALLI & MÜLLER-STEWENS, 2012	Artigo defende a existência de diferentes níveis de capital social e que há práticas específicas de desenvolvimento de liderança que são capazes de desenvolver o capital social nos diferentes níveis. A escolha das práticas precisa estar alinhada aos objetivos do programa
LEITCH & MCMULLAN, 2013	O aprimoramento do capital social nas pequenas organizações se dá de forma bastante diferente. As relações externas acabam tomando uma relevância muito maior, o que leva a proposta de um nível superior de capital social, que os autores chamam de capital institucional
ROBERTS & COGHLAN, 2011	Apresenta um modelo para o design de LDP que integra o desenvolvimento do capital social com o capital humano. O desenvolvimento de competências e habilidades individuais do líder é uma premissa inicial do aprimoramento do capital social
ROBERTS & ROPER, 2011	Semelhante à anterior
STENSAKER & GOODERHAM, 2015	Reforça a importância do cuidado com o design dos LDP. Importante haver clareza sobre os objetivos esperados, para que se faça as escolhas adequadas de design. Para que o compartilhamento de conhecimento se viabilize é importante evoluir o capital social ao nível cognitivo
VAN DE VALK & CONSTAS, 2011	Não é possível confirmar uma relação de causalidade entre a implementação de LDP e o aprimoramento do capital social. Há forte relação entre os dois conceitos, mas não há tecnicamente como demonstrar a causalidade

Tabela 1 – Relação entre LDP e Aprimoramento do Capital Social

Fonte: o Autor (2018)

A leitura da Tabela 1 permite constatar três pontos importantes sobre a relação entre os dois constructos. O primeiro deles é que programas de desenvolvimento de liderança tem o potencial de contribuir de maneira efetiva para o aprimoramento do capital social. O segundo ponto é que há que se dedicar elevada atenção aos elementos de design dos programas (práticas selecionadas e contexto), para que os objetivos esperados sejam alcançados. O terceiro elemento é que o desenvolvimento do capital humano, ainda que não seja o foco dos programas, está consistentemente presente como uma espécie de premissa para que o capital social se desenvolva plenamente.

Na outra ponta do papel de mediação do capital social, no que se refere aos *outcomes* esperados, metade dos artigos selecionados faz a conexão entre níveis de capital social das organizações e diferentes tipos de resultados de negócio. Galli e Muller-Stewens (2012) apresentam um estudo conectando diferentes resultados de negócios a diferentes níveis de capital social. Segundo eles, o nível cognitivo é necessário para que se viabilize o desenvolvimento conjunto de novos produtos ou mercados, o nível relacional é necessário para que haja a recomendação de clientes entre diferentes unidades de negócio e o nível estrutural é o suficiente para promover o *cross-selling* entre segmentos de produtos para um mesmo cliente. Na mesma

linha, McCallum & O'Connell (2009) apresentam cinco impactos positivos de altos níveis de capital social nas organizações: 1) redução dos custos de transação; 2) melhoria na criação e compartilhamento de conhecimento; 3) ações mais coerentes; 4) redução de custos de turnover, recrutamento e seleção; 5) obtenção de resultados financeiros acima da média de mercado. Já em outros segmentos de negócios, Minckler (2014) destaca que, na educação, maiores níveis de capital social entre os professores se traduzem em melhor performance escolar dos alunos, enquanto Duguay, Loughhead e Munroe-Chandler (2016) demonstram que, no esporte, o capital social está relacionado à melhoria de performance de atletas em times de basquete e voleibol. Espedal, Gooderham e Stensaker (2013) demonstram a melhoria do nível de compartilhamento de conhecimento na indústria pesada, a partir do aprimoramento do capital social.

3.3 Abordagem de redes no aprimoramento do capital social

Uma vez que o conceito de redes está na essência da definição do capital social, chega a ser surpreendente que apenas recentemente essa abordagem passou a tomar uma maior relevância na literatura sobre o tema. Ainda que Hoppe e Reinelt (2010) tenham feito uma importante contribuição ao propor um framework para conceituar diferentes tipos de redes de liderança a partir da abordagem de SNA (*Social Network Analysis*) e que alguns outros artigos tenham pincelado tópicos sobre o tema desde então (Roberts & Roper, 2011; Espedal, Gooderham, & Stensaker, 2013; Stensaker & Gooderham, 2015), foi apenas nos últimos anos que uma proposta robusta de abordagem para programas de desenvolvimento de liderança a partir da teoria de redes foi proposta por Cullen-Lester, Maupin e Carter (2017). Segundo elas, a abordagem de redes está muito mais presente na literatura acadêmica sobre liderança e na prática de desenvolvimento de liderança, do que na discussão científica sobre o desenvolvimento de liderança.

Na proposta de utilização da abordagem de redes, alguns conceitos básicos se mostram importantes como os de *bonding* e *bridging*. Ambas são formas de conexão entre nós da rede, mas conexões do tipo *bonding* se referem a vínculos fortes, intensos, resistentes enquanto conexões do tipo *bridging* se referem a vínculos mais fracos, ocasionais, frágeis. Conectando esses conceitos com os níveis de capital social da organização, tem-se que o primeiro nível, estrutural, é feito de conexões do tipo *bridging*. Que podem se tornar mais fortes com a elevação dos níveis de respeito e confiança evoluindo para o tipo *bonding*, que estão relacionadas a níveis mais evoluídos de capital social (Hoppe & Reinelt, 2010). Em seu artigo, Hoppe e Reinelt (2010) aprofundam os conceitos por detrás do uso da abordagem SNA para a análise de redes de liderança, mas deixam um comentário especialmente importante: as técnicas de SNA são úteis e pertinentes para avaliação de conectividade da rede em nível estrutural, mas não conseguem medir conteúdo, impacto e nem *outcomes* da

rede (Galli & Muller-Stewens, 2012). Para isso são necessários outros ferramentas mais qualitativos de investigação.

Outra questão importante relacionada aos conceitos de *bridging* e *bonding* é que possuir apenas conexões fortes e intensas não é necessariamente positivo para as organizações. Muitas vezes uma rede com grande número de conexões do tipo *bonding* possui elevado nível de respeito e de confiança, desenvolve visão e valores compartilhados, mas passa a pensar de maneira muito uniforme, formando *clusters* fechados. Algumas conexões do tipo *bridging* com outros *clusters* ou nós da rede se torna positivo para gerar ideias novas, promover visões contraditórias e estimular a inovação (Hoppe & Reinelt, 2010).

A partir do entendimento de que a abordagem de redes tem grande potencial para promover o aprimoramento do capital social, mas que essa utilização ainda é baixa, Cullen-Lester, Woehler e Willbunr (2016) propuseram um framework para apoiar responsáveis por programas de desenvolvimento de liderança a endereçar essa limitação. Segundo eles o baixo nível de utilização da abordagem de redes está relacionado ao fato de que as pessoas têm concepções equivocadas sobre redes de relacionamento e não sabem analisar e nem tomar medidas para melhorar a efetividade de suas próprias redes profissionais. Essas são competências importantes a serem desenvolvidas inicialmente em programas de desenvolvimento de liderança.

Feita essa contribuição inicial, Cullen-Lester, Maupin e Carter (2017) propuseram um modelo completo para programas de desenvolvimento de liderança em rede, que se inicia com a abordagem citada no parágrafo anterior para o desenvolvimento de competências nos indivíduos (intrapessoais e interpessoais), segue com uma abordagem onde indivíduos constroem e gerenciam concretamente redes de relacionamento (suas próprias e de outros) e termina com a abordagem em que coletividades co-gerenciam redes de relacionamento conjuntamente (nível máximo de capital social e de liderança potencial). Esse modelo foi testado e validado a partir de pesquisa realizada com 282 profissionais da área, selecionados nas bases do CCL (*Center for Creative Leadership*).

No modelo proposto, vale um destaque para a segunda abordagem, em que indivíduos gerenciam redes de relacionamento, suas e de outros. A análise consciente da efetividade das redes de relacionamento que estão sendo construídas (capital social se desenvolvendo) é fundamental para garantir que essa rede possua características compatíveis com os objetivos que a organização pretende extrair do aprimoramento do capital social. Outros autores reforçam essa ideia de que um coordenador ou mediador da rede de relacionamentos é elemento decisivo para elevar a efetividade da rede, alinhando-a aos objetivos pretendidos (Weibler e Rohn-Endres, 2010; Leitch & McMullan, 2013).

Para finalizar a discussão dos resultados, uma proposta de modelo que serve como um resumo das discussões mais atuais sobre o tema do aprimoramento do capital social e sua relação com programas de desenvolvimento de liderança é

apresentada a seguir:

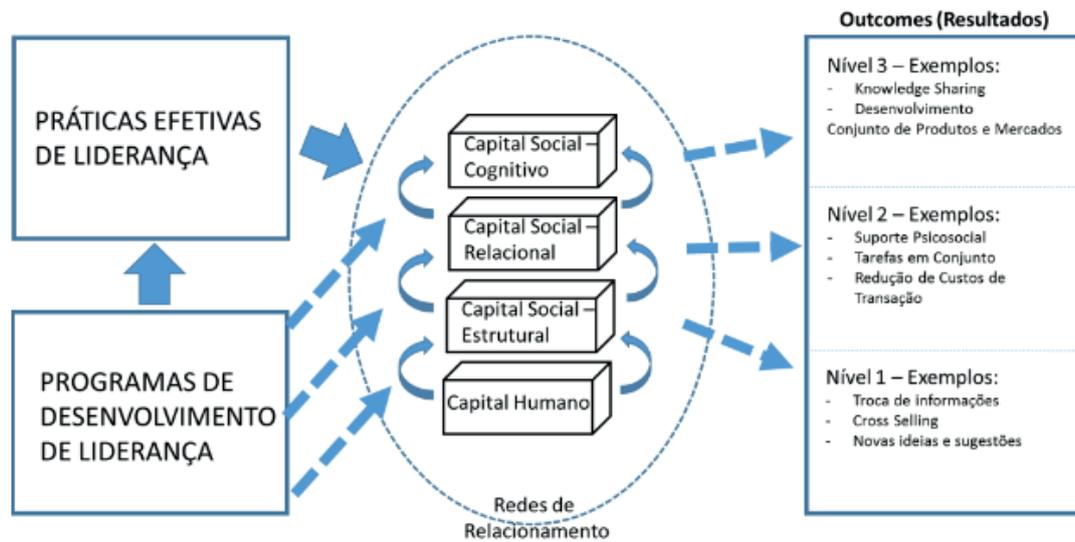


Figura 1 – Modelo-resumo visual

Fonte: o Autor (2018)

Nessa proposta de modelo-resumo é possível identificar o capital social exercendo um papel de mediação entre as práticas efetivas de liderança, programas de desenvolvimento de liderança e *outcomes* (resultados) concretos de negócios. Fica evidenciado que o capital social possui diferentes níveis de gradação, e que tem o capital humano (competências intrapessoais) como uma premissa para que ele se desenvolva plenamente. Os *outcomes* possíveis variam de acordo com o nível de capital social, conforme proposto por Galli e Muller-Stewens (2012). Programas de desenvolvimento de liderança podem contribuir diretamente para o aprimoramento do capital social, ou então de forma indireta, através do aprimoramento das práticas de liderança da organização. É possível observar que na contribuição direta, diferentes práticas ou ferramentas de desenvolvimento de liderança contribuem para diferentes níveis de capital social. Permeando todo esse processo está a abordagem de redes de relacionamento, que traz uma contribuição mais recente para essa compreensão.

Vale destacar que a base conceitual desse trabalho é o entendimento da liderança como um processo social coletivo e complexo, que envolve a todos na organização (Day, 2000). Esse entendimento é decisivo para que as organizações possam lidar com um ambiente de negócios que é cada dia mais volátil, incerto, complexo e ambíguo, e para o qual a abordagem anterior, baseada na figura do líder heroico, não apresenta mais respostas suficientes.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho de pesquisa teve por objetivo compreender o estado da

arte na literatura científica sobre a relação existente entre o aprimoramento do capital social nas organizações e os programas de desenvolvimento de liderança, e atingiu seu objetivo. Para isso foi utilizado o método da revisão integrativa, que se mostra adequado para realizar investigações compreensivas e reprodutíveis da literatura. Da relação inicial de pouco mais de cem artigos, a aplicação dos critérios de exclusão levou a lista final de selecionados a um total de 18. O reduzido número de artigos, com alta concentração de publicações nos últimos dois anos, revela a recência e relevância do tema.

O trabalho evidencia um vasto campo de pesquisa à frente, na busca por uma melhor compreensão da relação entre programas de desenvolvimento de liderança e o capital social. A maioria dos artigos selecionados reforçam essa questão, com uma demanda contundente por uma maior compreensão sobre a forma como o capital social se constrói. McCallum e O'Connel já pediam, em 2009, uma maior atenção a “estudos que avaliem a eficácia de diferentes práticas de desenvolvimento de liderança e os diferentes impactos em capital social e humano” (p. 152). Mesmo assim, em 2012, Galli e Muller-Stewens insistiam na necessidade de mais estudos sobre o reforço mútuo ou interação entre diferentes práticas de desenvolvimento de liderança e seu impacto no capital social e, em 2015, Stensaker e Gooderham afirmavam que há muito pouca atenção dada a como se construir o capital social nas organizações” (p. 443).

Mais especificamente, no que se refere a abordagens de redes para a compreensão dos programas de desenvolvimento de liderança, o campo de pesquisas é enorme. Em seu estudo mais recente, Cullen-Lester, Maupin e Carter (2017), identificaram apenas 26 artigos produzidos nos últimos 25 anos a respeito do tema do desenvolvimento de liderança em rede. Segundo elas, “há uma clara oportunidade para pesquisa futura considerando formas pelas quais a capacidade de liderança de indivíduos e coletivos pode ser desenvolvida através da abordagem de redes” (p. 12).

O presente estudo apresenta limitações importantes, sendo a principal delas o fato de a pesquisa ter sido realizada em apenas duas bases de dados (ainda que sejam as mais relevantes). A ampliação da base de pesquisa poderia trazer contribuições adicionais. Além disso, a pequena quantidade de artigos selecionados e ausência de um critério mais robusto de verificação de sua qualidade podem contribuir para a existência de algum tipo de viés na pesquisa realizada.

REFERÊNCIAS

ADLER, P. S.; KWON, S. W. Social capital: Prospects for a new concept. *Academy of management review*, 27(1), p. 17-40, 2002.

BOTELHO, L. L. R.; CUNHA, C. J. C. A.; MACEDO, M. O método da revisão integrativa nos estudos organizacionais. *Gestão e sociedade*, 5(11), p. 121-136, 2011.

PRUSAK, Laurence; COHEN, Don. In good company: How social capital makes organisations work. Harvard Business School Press, 2001.

*CULLEN-LESTER, K. L.; MAUPIN, C. K.; CARTER, D. R. Incorporating social networks into leadership development: A conceptual model and evaluation of research and practice. *The Leadership Quarterly*, 28(1), p. 130-152, 2017.

*CULLEN-LESTER, K. L.; WOEHLER, M. L.; WILLBURN, P. Network-based leadership development: A guiding framework and resources for management educators. *Journal of Management Education*, 40(3), p. 321-358, 2016.

DAY, D. V. Leadership development: A review in context. *The Leadership Quarterly*, 11(4), p. 581-613, 2000.

DAY, D. V. et al. A. Advances in leader and leadership development: A review of 25 years of research and theory. *The Leadership Quarterly*, 25(1), p. 63-82, 2014.

*DUGUAY, A. M.; LOUGHEAD, T. M.; MUNROE-CHANDLER, K. J. The development, implementation, and evaluation of an athlete leadership development program with female varsity athletes. *The Sport Psychologist*, 30(2), p. 154-166, 2016.

*EDMONSTONE, J. Developing leaders and leadership in health care: a case for rebalancing? *Leadership in Health Services*, 24(1), p. 8-18, 2011.

*ELKINGTON, R. et al. Global leaders' perceptions of elements required for effective leadership development in the twenty-first century. *Leadership & Organization Development Journal*, 38(8), p. 1038-1056, 2017.

*ESPEDAL, B.; GOODERHAM, P. N.; STENSAKER, I. G. Developing organizational social capital or prima donnas in MNEs? The role of global leadership development programs. *Human Resource Management*, 52(4), p. 607-625, 2013.

*GALLI, E. B.; MÜLLER-STEWENS, G. How to build social capital with leadership development: Lessons from an explorative case study of a multibusiness firm. *The Leadership Quarterly*, 23(1), p. 176-201, 2012.

HARTLEY, J.; HINKSMAN, B. *Leadership development: A systematic review of the literature*. London: NHS Leadership Centre, p. 1-78, 2003.

*HOPPE, B.; REINELT, C. Social network analysis and the evaluation of leadership networks. *The Leadership Quarterly*, 21(4), p. 600-619, 2010.

*LEITCH, C. M.; McMULLAN, C.; HARRISON, R. T. The development of entrepreneurial leadership: The role of human, social and institutional capital. *British Journal of Management*, 24(3), p. 347-366, 2013.

*MASADEH, R. M. T.; MAQABLEH, M. M.; KARAJEH, H. A theoretical perspective on the relationship between leadership development, knowledge management capability, and firm performance. *Asian Social Science*, 10(6), p. 128, 2014.

*McCALLUM, S.; O'CONNELL, D. Social capital and leadership development: Building stronger leadership through enhanced relational skills. *Leadership & Organization Development Journal*, 30(2), p. 152-166, 2009.

*MINCKLER, C. H. School leadership that builds teacher social capital. *Educational Management Administration & Leadership*, 42(5), p. 657-679, 2014.

NAHAPIET, J.; GHOSHAL, S. Social Capital, Intellectual Capital, and the Organizational Advantage. *The Academy of Management Review*, 23(2), p. 242-266, 1998.

PUTNAM, R. D. *Bowling alone: America's declining social capital*. New York. 2011.

*ROBERTS, C.; COGHLAN, D. Concentric collaboration: a model of leadership development for healthcare organizations. *Action learning: Research and practice*, 8(3), p. 231-252, 2011.

*ROBERTS, C.; ROPER, C. The four C's of leadership development. In *Organization development in healthcare: Conversations on research and strategies*. Emerald Group Publishing Limited. p. 125-149, 2011.

*STENSAKER, I. G.; GOODERHAM, P. N. Designing global leadership development programmes that promote social capital and knowledge sharing. *European Journal of International Management*, 9(4), p. 442-462, 2015.

*SWENSEN, S. et al. Leadership by design: intentional organization development of physician leaders. *Journal of Management Development*, 35(4), p. 549-570, 2016.

*VAN DE VALK, L. J.; CONSTAS, M. A. A methodological review of research on leadership development and social capital: Is there a cause and effect relationship? *Adult Education Quarterly*, 61(1), p. 73-90, 2011.

*WEIBLER, J.; ROHN-ENDRES, S. Learning conversation and shared network leadership. *Journal of Personnel Psychology*. 2011.

WHITTEMORE, R.; KNAFL, K. The integrative review: updated methodology. *Journal of advanced nursing*, 52(5), p. 546-553, 2005.

YUKL, G. A. *Leadership in organizations*. Pearson Education India. 2013.

* artigos que compõem a relação final de selecionados na revisão integrativa.

BRUNIMENTO FLEXÍVEL DE CILINDROS DE BLOCOS DE COMPRESSORES HERMÉTICOS: AVALIAÇÃO DO EFEITO DA GRANULOMETRIA E DO NÚMERO DE GOLPES DA FERRAMENTA NO PARÂMETRO DE RUGOSIDADE R_p

Guilherme Henrique Caetano Barros

Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

Laboratório de Ensino em Metrologia - LEMETRO

Uberlândia - MG

Rosenda Valdés Arencibia

Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

Uberlândia - MG

Luciano José Arantes

Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

Uberlândia - MG

RESUMO: O objetivo deste trabalho é avaliar por meio de um planejamento fatorial 2×3 o efeito da granulometria e do número de golpes da ferramenta empregados durante o processo de brunimento flexível na rugosidade R_p . O fator granulometria foi investigado em dois níveis (400 e 800 *mesh*) e o número de golpes da ferramenta em três (1, 3 e 5). O brunimento flexível foi aplicado em cilindros de blocos de compressores herméticos previamente usinados pelo brunimento convencional na linha de produção da EMBRACO. O brunimento flexível foi realizado na UFU utilizando uma fresadora CNC e as ferramentas brunidoras flexíveis. A avaliação da qualidade geométrica foi efetuada por meio da medição da rugosidade utilizando um rugosímetro eletromecânico. Para cada mensurando foi estimada sua respectiva

incerteza de medição, aplicando o método GUM. A granulometria da ferramenta e a interação entre estes fatores afetaram de forma estatisticamente significativa os valores de R_p . Os resultados indicaram que o processo de brunimento flexível utilizando a ferramenta com granulometria de 800 *mesh* e 5 golpes desta proporcionou o melhor acabamento superficial considerado a funcionalidade dos cilindros. Estas condições de corte permitiram a obtenção de superfícies similares às resultantes do brunimento platô, o que pode aumentar o campo de aplicação deste processo.

PALAVRAS-CHAVE: brunimento flexível, flex-hone, rugosidade R_p ; ANOVA.

EFFECT OF THE GRAIN SIZE AND THE NUMBER OF TOOL STROKES ON PARAMETERS ROUGHNESS R_p IN FLEXIBLE HONED CYLINDERS

ABSTRACT: This work aims to evaluate the effect of the two cutting parameters (grain size and number of tool strokes) on the values of roughness R_p in flexible honed crankcase cylinder of hermetic compressors. The study was based on a factorial design 2×3 , where the grain size factor was investigated on two levels (400 and 800 *mesh*) and the number of tool strokes on three (1, 3 and 5). Flexible honing

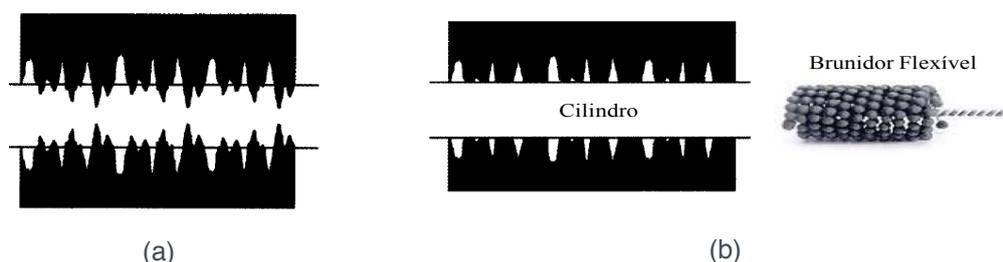
was performed after conventional honing. The flexible honing was conducted using a CNC milling machine and the Silicon Carbide flex hone tools. An electromechanical surface roughness tester was used to carry out roughness measurements. The measurement uncertainty was assessed using the GUM method. The Analysis of Variance (ANOVA) technique was applied, and it was observed that the factor tool grain size and interaction between these factors caused statistically significant effects on R_p . The results indicated that the flexible honing process using 800 *mesh* tool grain size and 5 strokes produced the best surface finish considering the functionality of the cylinders. The application of these cutting conditions allowed for the obtainment of surfaces similar to those that resulted from the plateau honing operation.. This result can increase the field of application of this process.

KEYWORDS: Flexible Honing; flex-hone; R_p Roughness; ANOVA.

1 | INTRODUÇÃO

Na crescente busca do desenvolvimento e evolução de seus produtos a indústria de refrigeração e climatização, em particular a de produção de compressores, tem investido constantemente em pesquisas para melhorar a funcionalidade, prolongar a vida útil de seus componentes e, principalmente, aumentar a eficiência energética. Neste contexto, o cilindro do bloco do compressor recíproco alternativo hermético, tem recebido uma atenção especial por parte dos fabricantes e pesquisadores. Este requer elevada exatidão dimensional e geométrica, a fim de evitar dificuldades na montagem, o aparecimento de esforços desgastantes, possíveis vazamentos, e a perda de eficiência do compressor (Rosa, 2012), e com isso diminuir gastos com possíveis retrabalhos ou refugos devidos a erros de fabricação.

O brunimento flexível (BF) é um processo de usinagem utilizado após o brunimento convencional (BC), que atua por intermédio de partículas elásticas e abrasivas de maneira a não alterar as características anteriores da peça, tais como, cilindricidade, coaxialidade, concentricidade e dimensões (Miller, 1993). O brunimento flexível tem por finalidade eliminar os picos e imperfeições das superfícies dos cilindros dos compressores herméticos e melhorar expressivamente o acabamento superficial o qual influi diretamente na vida útil e na eficiência do compressor. A Figura 1 apresenta esquematicamente um perfil de uma superfície cilíndrica antes de realizar a operação de brunimento flexível e após a realização desta.



No brunimento flexível do tipo esferas a ferramenta brunidora possui glóbulos abrasivos com forma esferoidal ligados às pontas de filamentos de nylon flexível. Cada esfera abrasiva é composta de múltiplas camadas, que se degradam a uma taxa prevista e controlada de exposição contínua das arestas cortantes (Miller, 1993).

O tamanho de grão do abrasivo é um fator decisivo na taxa de remoção de material, bem como na qualidade da superfície da peça (Flores, 1998). A dimensão e uniformidade dos grãos são características importantes nos processos de usinagem com abrasivos. O tamanho dos grãos em *mesh* representa o número de fios por polegada linear da peneira do processo de seleção.

2 | METODOLOGIA

Neste contexto, objetivando investigar o efeito das variáveis granulometria e número de golpes da ferramenta nos valores do parâmetro de rugosidade R_p de blocos de compressores herméticos brunidos pelo brunimento flexível aplicado após o brunimento convencional (BF + BC) um planejamento fatorial completo 2 x 3 foi proposto. O fator granulometria foi investigado em dois níveis: 400 *mesh* e 800 *mesh*, e o número de golpes em três níveis: 1, 3 e 5 golpes. A Tabela 1 mostra a matriz experimental e os blocos avaliados em cada experimento.

De acordo com a matriz de planejamento foram executados 6 (seis) testes. Para cada teste foram efetuadas cinco réplicas. Sendo necessário avaliar 30 blocos de compressores herméticos, que foram numerados de forma aleatória de 1 a 30. De acordo com Pereira (2016), cada golpe da ferramenta no cilindro consistiu em quatro movimentos, sendo dois no sentido horário (um de avanço e um de recuo) e dois no anti-horário (um de avanço e um de recuo). Os blocos foram inicialmente usinados pelo brunimento convencional com a ferramenta precidor pela empresa EMBRACO, procedimento realizado em sua linha de produção. O BF dos cilindros em uma máquina fresadora CNC, utilizando a ferramenta brunidora flexível.

Experimento	Fator 1 Granulometria (<i>mesh</i>)	Fator 2 Número de golpes	Blocos
1	-1 (400)	-1 (1)	30, 29, 28, 27, 26
2	+1 (800)	-1 (1)	05, 04, 03, 02, 01
3	-1 (400)	-0 (3)	25, 24, 23, 22, 21
4	+1 (800)	-0 (3)	10, 09, 08, 07, 06
5	-1 (400)	+1 (5)	20, 19, 18, 17, 16
6	+1 (800)	+1 (5)	15, 14, 13, 12, 11

Tabela 1 - Matriz de planejamento para o experimento fatorial completo 2 x 3.

Para a avaliação da rugosidade foi utilizado um rugosímetro portátil Surtronic 3+, modelo 112/1590, com resolução de $0,01 \mu\text{m}$. Este equipamento possui uma ponta de diamante com raio de $2 \mu\text{m}$. De acordo com o certificado de calibração a incerteza expandida associada à calibração do rugosímetro é $0,02 \mu\text{m}$ para k igual a 2,23 e probabilidade de abrangência de 95 %. Cinco ciclos de medição foram efetuados. O comprimento de amostragem foi definido como $0,8 \text{ mm}$ de acordo a NBR ISO 4288 (ABNT, 2008). Cinco comprimentos de amostragem foram considerados. O filtro de Gauss foi aplicado no perfil bruto para retirada das ondulações.

Os blocos e o rugosímetro foram posicionados na mesa de medição da máquina de medir por coordenadas de forma a minimizar o efeito das vibrações transmitidas pelo solo. As medições foram conduzidas a temperatura ambiente de $20,0 \pm 1,0 \text{ }^\circ\text{C}$. Para o monitoramento da mesma foi utilizado um termo-higrômetro digital, com resolução de $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ e faixa nominal de $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ a $60 \text{ }^\circ\text{C}$. Este equipamento possui incerteza associada à calibração de $0,3 \text{ }^\circ\text{C}$ para k igual a 2,00 e probabilidade de abrangência de 95,45 %.

A incerteza de medição foi avaliada por meio da aplicação do método GUM proposto no BIPM et al. (2008). O tratamento dos dados foi efetuado utilizando-se a técnica estatística de Análise de Variância (ANOVA), por meio do *software* Statistica 7.0.

3 | RESULTADOS

A Figura 2a mostra os valores médios do parâmetro R_p para os cilindros usinados pelo BC e BC+BF nas seis condições de corte investigadas, com barra de erros associada à incerteza expandida (95 %). Por sua vez a Fig. 2b mostra a diferença entre os valores médios de R_p obtidos antes e após o brunimento flexível para cada experimento. Observa-se na Fig. 2a que os valores de R_p são significativamente menores após o BC+BF em todas as condições investigadas, bem como os valores de incerteza expandida associados. Os valores de incerteza expandida associados ao R_p diminuíram de forma significativa com a aplicação do BC+BF, indicando uma maior repetibilidade. Isto pode ser justificado pelo fato de que com o processo do brunimento flexível os valores das ordenadas dos picos do perfil ficaram mais homogêneos em decorrência da eliminação de picos isolados e da redução da altura dos picos.

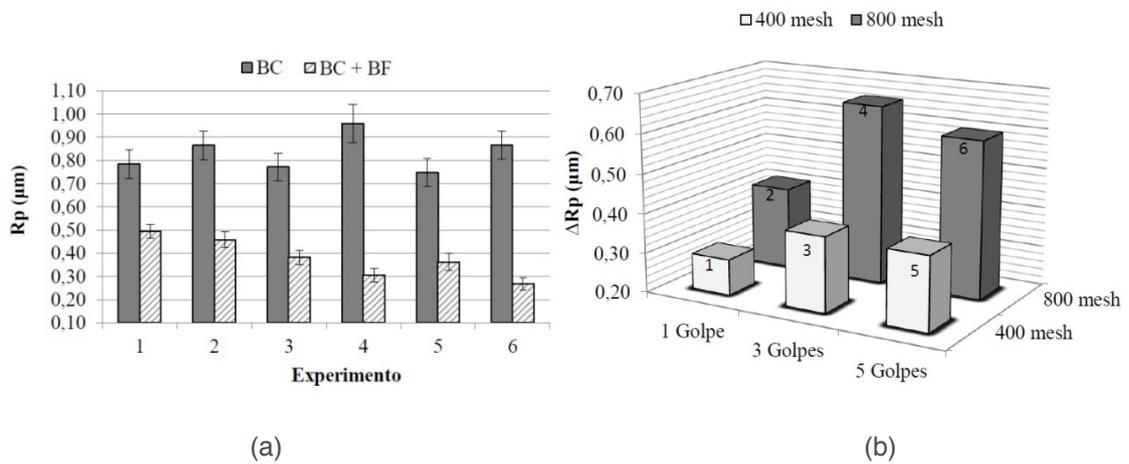


Figura 2 - (a) Valores médios do parâmetro R_p para os cilindros usinados pelo BC e BC+BF nas seis condições de corte investigadas, com barra de erros associada à incerteza expandida (95 %) e (b) Diferença entre os valores médios de R_p obtidos antes e após o brunimento flexível para cada experimento.

A partir da Fig. 2b se conclui que o Experimento 1 foi o que resultou na menor diferença percentual, sendo em média de 37,0 % (0,290 µm). Para este parâmetro foi observado que o Experimento 6 mostrou a maior evolução dos valores médios de R_p , com as condições de usinagem de granulometria da ferramenta de 800 *mesh* e 5 golpes da ferramenta brunidora flexível, em média de 68,9 % (0,597 µm). O Experimento 4 mostrou uma evolução significativa, com as condições de usinagem de granulometria da ferramenta de 800 *mesh* e 3 golpes da ferramenta brunidora flexível, sua diferença percentual entre os valores médios de R_p entre os dois processos foi de 68,1 % (0,653 µm).

A Tabela 2 mostra o resultado da ANOVA para as diferenças encontradas entre os valores do parâmetro R_p obtidos antes e após o BF. Nesta tabela pode ser observado que o fator granulometria da ferramenta (GR) e a interação entre os dois fatores (GRxNG) produziram efeitos estatisticamente significativos na variável resposta R_p para uma confiabilidade estatística de 95 %. Dentre eles, o fator de maior contribuição foi a granulometria da ferramenta (GR). A diminuição das dimensões dos grãos abrasivos da ferramenta brunidora flexível reduziu o parâmetro de rugosidade R_p , conforme observado na Fig. 2b. Isto pode ser justificado devido a que menores partículas abrasivas tendem a deixar menores marcas e produzem um acabamento superficial melhor, e conseqüentemente menores alturas.

R_p	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F	p
Granulometria (GR)	0,311223	1	0,311223	19,9587	0,000161
Nº de golpes (NG)	0,040459	2	0,020229	1,2973	0,291748
GR x NG	0,127508	2	0,063754	4,0885	0,029647
Erro	0,374240	24	0,015593		

Tabela 2 - ANOVA da diferença do parâmetro R_p de rugosidade dos cilindros antes e após brunimento flexível.

Para os cilindros de compressores herméticos é desejável que o parâmetro R_p seja o menor possível, uma vez que os picos isolados presentes na superfície podem ser desgastados ou quebrados no início do funcionamento do compressor. As partículas desgastadas são misturadas com o fluido lubrificante, tornando-o abrasivo, o que pode diminuir a vida útil do compressor. Esses picos podem levar à existência de contato metal-metal no par tribológico cilindro-pistão, gerando aquecimento e pior desempenho. Ainda, a redução dos picos atribui ao compressor uma condição de amaciamento aumentando sua eficiência.

4 | CONCLUSÕES

O fator granulometria da ferramenta e a interação entre este e o fator número de golpes da ferramenta provocaram efeitos estatisticamente significativos nos valores de R_p . Os menores valores de R_p foram observados na condição de usinagem com granulometria da ferramenta de 800 *mesh* e 5 golpes da ferramenta. A aplicação destas condições de corte possibilitou a obtenção de perfis muito similares aos obtidos por meio do brunimento platô o que pode aumentar o campo de aplicação do BC+BF.

5 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia e à EMBRACO pelo fornecimento dos blocos.

6 | DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR ISO 4288, “Especificações geométricas do produto (GPS) – Rugosidade: Método do perfil-regras e procedimentos para avaliação de rugosidade”. Rio de Janeiro, Brasil, 2008, 10p.

BIPM, IEC, IDCC, ILAC, ISO, IUPAC, OIML, JCGM 100:2008 **Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement**, 2008. 90p.

Flores, G. **Diamond and CBN honing technology**. Society of Manufacturing Engineers. 1998, 9p.

Miller, M. L. “Flexible Honing. A study of cylinder wall microstructure. **Proceedings Understanding. The Basics of Honing, SME - Society of Mechanical Engineers**”, 1993. 9p.

Pereira, L. C. “Influência das Condições de Usinagem do Brunimento Flexível na Qualidade

Geométrica de Cilindros de Blocos de Compressores Herméticos". Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, 2016.

Rosa, V. A. O. "**Investigação da Operação de Alargamento dos Furos Usinados em Pistões de Ferro-Carbono Sinterizado**". Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, 2012.

Vertec. "**Manual Flex-Hone**", 02 de maio de 2017 < www.vertec.com.br/produtos/flex_hone.pdf >

ANÁLISE DA ACELERAÇÃO POR EXTRAPOLAÇÃO DA FONTE DE FISSÃO CONSIDERANDO A TEORIA DE DIFUSÃO DE NEUTRONS EM REATORES NUCLEARES

Andrey Silva Pontes

Universidade Federal do Oeste do Pará
Santarém – Pará

Henrique Matheus Ferreira da Silva

Universidade Federal do Oeste do Pará
Santarém – Pará

Lenilson Moreira Araújo

Universidade Federal do Oeste do Pará
Santarém – Pará

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo analisar a performance do método de aceleração da fonte de fissão por extrapolação, considerando o problema da difusão de nêutrons em reatores nucleares. Diferentes métodos foram empregados simultaneamente com o esquema de aceleração adotado a fim de resolver o sistema linear de grande porte resultante do processo de discretização da equação da difusão de nêutrons pelo do Método dos Elementos Finitos (MEF) clássico. Tais métodos foram implementados em linguagem de programação de alto nível FORTRAN. O estudo realizado tomou como base os benchmarks EPRI-9 e Homogeneous Reactor, ambos reatores bidimensionais modelados a 2 e 3 grupos de energia, respectivamente. Os resultados obtidos a partir das simulações mostram a eficiência do esquema de aceleração

implementado e sugerem um intervalo ainda mais restrito dentro do qual se encontra o valor ótimo do parâmetro de aceleração.

PALAVRAS-CHAVE: Difusão de Nêutrons, Fonte de Fissão, Aceleração por extrapolação, Modelagem computacional.

ANALYSIS OF ACCELERATION BY EXTRAPOLATION OF THE FISSION SOURCE CONSIDERING THE DIFFUSION NEUTRONS THEORY IN NUCLEAR REACTORS

ABSTRACT: The aim of this work is to analyze the performance of the fission source acceleration method by extrapolation, considering the problem of neutron diffusion in nuclear reactors. Different solvers were used simultaneously with the adopted acceleration scheme in order to solve the large linear system resulting from the discretization process of the neutron diffusion equation by the classical Finite Element Method (MEF). These methods were implemented in FORTRAN high-level programming language. The study was based on EPRI-9 and Homogeneous Reactor benchmarks, both bidimensional reactors modeled at 2 and 3 energy groups, respectively. The results obtained from the simulations show

the efficiency of the implemented acceleration scheme and suggest an even more restricted range within which the optimum value of the acceleration parameter is found.

KEYWORDS: Neutron Diffusion, Fission Source, Numerical Methods, Computational Modeling.

1 | INTRODUÇÃO

Os reatores teóricos têm a finalidade de investigar fenômenos e aplicações nas mais diversas áreas da engenharia nuclear e exercem um papel fundamental para a física de nêutrons e reatores, bem como para testes e validações de métodos numéricos. O problema primordial na teoria dos reatores nucleares é determinar a distribuição de nêutrons dentro do reator, pois é esta que determina a taxa na qual variam as reações nucleares que ocorrem dentro dele.

Para isto, podemos utilizar a teoria da difusão de nêutrons (Duderstadt & Hamilton, 1976) para calcularmos circunstâncias necessárias para alcançar a criticalidade. Para fins de se obter o fator de multiplicação efetivo de nêutrons, deve-se resolver a equação da difusão de nêutrons à multigrupos de energia. Métodos iterativos são empregados visando aceleração do processo de convergência da solução numérica da equação citada para se obter tanto o fator de multiplicação efetivo como o fluxo de nêutrons dentro do reator.

Diante desse contexto, este artigo visa a implementação da aceleração por extrapolação da fonte de fissão. O foco para a análise das simulações é o desempenho e perturbação causados pela aceleração da fonte de fissão em três diferentes métodos para a solução de sistemas de equações gerados pelo problema.

2 | REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Modelagem da Equação da Difusão de Nêutrons

A equação da difusão de nêutrons é uma equação de derivadas parciais (EDP) do tipo elíptica que descreve a variação de densidade de nêutrons em um volume controle e representa o balanço entre perda e produção de nêutrons no interior desse volume (Roza, 2013). Para o desenvolvimento da análise numérica da equação da difusão de nêutrons utilizamos o Método dos Elementos Finitos (MEF) clássico (Liu & Rincon, 2013). a fim de tratar a dependência espacial do problema, de forma a obter sua solução numérica. A equação da difusão de nêutrons em geometria cartesiana bidimensional, em sua forma multigrupo, é dada por

$$\begin{aligned}
& -\nabla \cdot D_g(r) \nabla \Phi_g(r) + \Sigma_{r,g}(r) \Phi_g(r) \\
& = \sum_{g' \neq g}^G \Sigma_{s,g',g}(r) \Phi_{g'}(r) + \frac{\chi_g}{k_{eff}} \sum_{g'=1}^G \nu \Sigma_{f,g'}(r) \Phi_{g'}(r), \quad (1)
\end{aligned}$$

$$g = 1, \dots, G,$$

$$\forall r = (x, y) \in \Omega \subset \mathbb{R}^2$$

Onde todos os termos são definidos de forma usual como em (Duderstadt & Hamilton, 1976).

Através do princípio de ortogonalidade de funções (método de Galerkin) a equação da difusão de nêutrons é transformada em um problema variacional abstrato. Essa forma variacional é discretizada em partições suficientemente pequenas. Estas partições são chamadas de elementos. O fluxo de nêutrons é então estabelecido como sendo uma combinação linear dentro de cada um dos elementos que compõe a malha (Pessoa et al., 2018). Tais procedimentos transformam a EDP em um sistema linear algébrico de grande porte. Os métodos para a resolução desses sistemas serão descritos no item 3, seções 3.1 a 3.3.

2.2 O fator de multiplicação efetivo de nêutrons

O fator de multiplicação efetivo k_{eff} é determinado pela relação do número de fissões de uma geração com o número de fissões da geração anterior. Sendo assim, para que a reação em cadeia continue a se estabelecer a uma taxa constante, por fissão, cada nêutron que colidir com o elemento radioativo deve produzir um outro nêutron, e assim por diante. Tal sistema é chamado de crítico ($k_{eff} = 1$). Para o caso em que o número de nêutrons gerado por meio de fissão for menor que um, de forma que a reação em cadeia reduza com a variação de tempo, trata-se de um sistema subcrítico ($k_{eff} < 1$). Para a situação inversa, no qual o número de nêutrons da próxima geração for maior que um, a reação tende a aumentar com a variação do tempo, logo, temos um sistema supercrítico ($k_{eff} > 1$).

Graficamente,

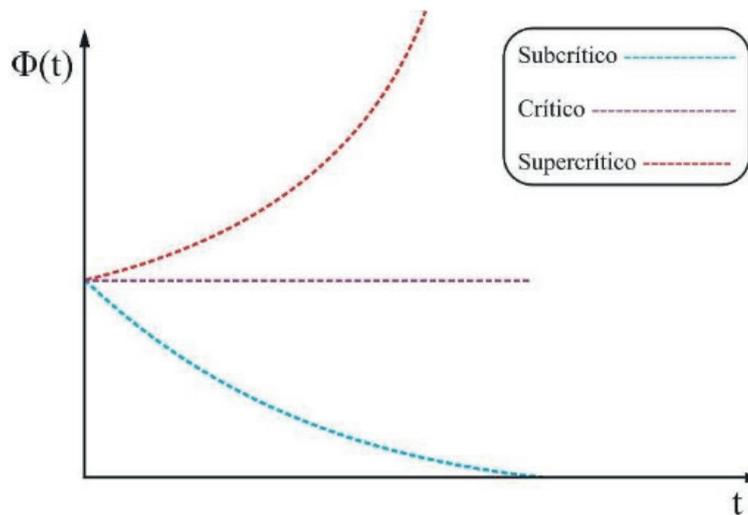


Figura 1- Variação da criticalidade em relação ao tempo para os três sistemas.

A partir de nossa definição física de criticalidade, é evidente que o equilíbrio cauteloso deve ser estabelecido entre a taxa na qual os nêutrons são produzidos no sistema e a taxa em que eles desaparecem, para que haja a autossustentação da reação em cadeia.

O autovalor k_{eff} pode ser obtido por

$$k_{i+1} = k_i \frac{\int F_{i+1} dV}{\int F_i dV} \quad (2)$$

Onde i é o índice de iteração, k_i é o fator de multiplicação efetivo de nêutrons e F_i é a fonte de fissão dada por $F_i = \sum_{g'=1}^G \nu \Sigma_{f,g'}(r) \phi_{g'}^i(r)$.

2.3 Problema de iteração para a fonte de fissão

Em geral, a eficiência referente ao cálculo computacional e quantidade de memória para a iteração de fonte busca a convergência em um número coerente de iterações. Porém, em certos casos, a demora em atingir a convergência pode ser uma complicação. A iteração de fonte é crucial para a solução de problemas de autovalores neutrônicos. A taxa no qual há convergência pode ser muito lenta em alguns casos. Devido à importância das iterações de fonte, vários métodos de aceleração foram criados. Por isso, faz-se de suma importância o estudo de métodos que buscam acelerar a convergência, diminuindo o número de iterações necessárias para obter determinado nível de precisão para o k_{ef} e a distribuição de fissão. O método de aceleração utilizado neste trabalho será apresentado no item 3, seção 3.4.

2.4 Benchmarks

EPRI9 – 2D: O benchmark EPRI-9 2D (Khalil, 1982) trata-se de um reator nuclear teórico definido em duas dimensões que é amplamente utilizado para análise e validação de métodos numéricos. A altura do núcleo ativo é de 120 cm, água refletora superior e inferior com 20 cm cada, totalizando 160 cm.

Homogeneous Reactor: Para o benchmark Homogeneous (Han, Dulla & Ravetto, 2009), as dimensões consideradas são de 160 × 140 cm². O modelo teste é a 3 grupos de energia.

3 | METODOLOGIA

O conjunto de técnicas implementadas para resolução dos sistemas de equações gerados pela Eq. (1) corresponde à um método direto, um método iterativo e um método de aceleração polinomial, discretizada pelos métodos das seções 3.1, 3.2 e 3.3, respectivamente. Para a fonte de fissão, diversos métodos podem ser empregados. Aqui, foi utilizado a extrapolação por sobre-relaxação, descrita no item 3.4.

3.1 Método de Sobre-relaxação sucessiva (SOR).

O Método de Sobre-Relaxação Sucessiva (Successive Over-Relaxation - SOR) (Holm, 1959) é um melhoramento do método de Gauss-Seidel para a solução de sistemas de equações lineares, onde o termo ω pode acelerar a convergência para a solução do sistema. A formula de recorrência do método de relaxamento é dada por

$$\varphi_i^{(k+1)} = \frac{\omega}{a_{ii}} \left(b_i - \sum_{j<i} a_{ij} \varphi_j^{(k+1)} - \sum_{j>i} a_{ij} \varphi_j^{(k)} \right) + (1 - \omega) \varphi_i \quad (3)$$

Quando $\omega = 1$, é precisamente o método de Gauss-Seidel. Se A é uma matriz simétrica positiva definida e $0 < \omega < 2$, então, a técnica SOR converge de qualquer vetor inicial. Pode-se ainda selecionar o fator de relaxamento de tal forma que a taxa de convergência seja consideravelmente superior à obtida pelos métodos de Gauss-Jacobi e Gauss-Seidel. Para o problema elíptico que estamos tratando, toma-se $\omega \approx 1,45$ como valor ótimo.

3.2 Algoritmo de Crout

O Método direto de Crout é uma variante particular da fatoração LU. Para evitar o armazenamento excessivo de matrizes, a solução é armazenada em b_j (Liu & Rincon, 2013). Considerando o a matriz decomposta na forma da Eq.(4) , deve-se, então, estipular a solução $\varphi = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n)$.

$$A\varphi = (U^T D U)\varphi \quad (4)$$

Onde A é a matriz simétrica, U é a matriz triangular superior e D é a matriz dos elementos diagonais. O algoritmo de Crout pode ser implementado de acordo com a estrutura abaixo

Algoritmo de Crout

```

1: do  $j = 2, 3, \dots, n$ 
2:   do  $i = 2, 3, \dots, j - 1$ 
3:      $A_{ij} \leftarrow A_{ij} - \sum_{k=1}^{i-1} A_{ki} A_{kj}$ 
4:     do  $i = 1, 2, \dots, j - 1$ 
5:        $T \leftarrow A_{ij}$ 
6:        $A_{ij} \leftarrow T / A_{ii}$ 
7:      $A_{jj} \leftarrow A_{jj} - T A_{ij}$ 
8:   end do
9: do  $j = 2, 3, \dots, n$ 
10:   $b_j = b_j - \sum_{i=1}^{j-1} A_{ij} b_i$ 
11: end do
12: do  $j = 1, 2, \dots, n$ 
13:   $b_j \leftarrow b_j / A_{jj}$ 
14: end do
15: do  $j = n, n - 1, \dots, 2$ 
16:  do  $i = 1, 2, \dots, j - 1$ 
17:     $b_i \leftarrow b_i - A_{ij} b_j$ 
18:  end do

```

3.3 Algoritmo do Gradiente Conjugado

Sendo um caso particular do método das direções conjugadas, e tendo uma matriz simétrica, positiva e definida, as direções são obtidas pelo gradiente da função. Por meio de sucessivos gradientes, é possível obter a direção que será conjugada, assim, minimizar a função é análoga a solução do sistema. Para implementação, podemos utilizar a estrutura do algoritmo (Cantanhêde, 2017) a seguir

Algoritmo do Gradiente Conjugado

```
1: Escolhe – se  $\varphi_0 \in R^n$ 
2:  $r_0 = A\varphi_0 - b$ 
3:  $d_0 = r_0$ 
4:  $k = 0$ 
5: do while  $d_k \neq 0$ 
6:    $\alpha_k = -r_k^T d_k / (d_k^T A d_k)$ 
7:    $\varphi_{k+1} = \varphi_k + \alpha_k d_k$ 
8:    $r_{k+1} = A\varphi_{k+1} - b$ 
9:    $\beta_k = -r_{k+1}^T A d_k / (d_k^T A d_k)$ 
10:   $d_{k+1} = r_{k+1} + \beta_k d_k$ 
11:   $k \leftarrow k + 1$ 
12: end do
```

3.4 Aceleração por extrapolação da fonte de fissão

Para acelerar a convergência da fonte, o método de extrapolação por sobre-relaxação é usada para melhorar as iterações no fluxo (Lewis & Miller, 1984). A sobre-relaxação aplicada a fonte de fissão causada por nêutrons é descrita por

$$F_{i+1} = \omega_f (\tilde{F}_i - F_i) + F_i \quad (5)$$

Onde, \tilde{F}_i é a fonte de fissão não acelerada, obtida pela Eq.(2), F_i é o termo acelerado e ω_f é o parâmetro de sobre-relaxação para a fonte.

Para extrapolação por sobre relaxamento, temos que $1 \leq \omega < 2$, onde para todo valor maior que 1, temos a sobre-relaxação. Se $\omega = 1$, então

$$F_{i+1} = \tilde{F}_i \quad (6)$$

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ambos os benchmarks foram resolvidos considerando malhas com três quantidades diferentes de elementos. Para os casos sem aceleração, apresentados nas tabelas 1 e 2, utilizou-se $\omega_f = 1.0$. Já para os casos aceleração, apresentados nas tabelas 2 e 4, utilizou-se os valores 1.4, 1.5 e 1.6 para o parâmetro de extrapolação ω_f . O número total de iterações presente em todas as tabelas refere-se a soma das iterações de fluxo internas e externas.

Número de Elementos	Solver					
	SOR ($\omega = 1.45$)		Crout		Gradiente Conjugado	
	Iterações [tempo (s)]	$keff$	Iterações [tempo (s)]	$keff$	Iterações [tempo (s)]	$keff$
1024	915 [86]	0,92711	195 [21]	0,92711	188 [91]	0,91459
2304	1996 [964]	0,92717	199 [162]	0,92717	186 [596]	0,91202
4096	4337 [7620]	0,92719	196 [763]	0,92719	186 [2296]	0,91061

Tabela 1- Resultados para o benchmark EPRI-9 sem aceleração do termo de fonte de fissão

Número de Elementos	Solver					
	SOR ($\omega = 1.45$)		Crout		Gradiente Conjugado	
	Iterações [tempo (s)]	$keff$	Iterações [tempo (s)]	$keff$	Iterações [tempo (s)]	$keff$
896	1676 [150]	0,90205	105 [15]	0,90205	190 [76]	0,91424
2016	3549 [1610]	0,90207	105 [136]	0,90207	117 [900]	0,90207
3584	6004 [10813]	0,90208	101 [678]	0,90207	117 [3480]	0,90208

Tabela 2 - Resultados para o benchmark Homogeneous Reactor sem aceleração do termo de fonte de fissão.

ω_f	Nº de Elementos	Solver					
		SOR ($\omega = 1.45$)		Crout		Gradiente Conjugado	
		Iterações [tempo (s)]	$keff$	Iterações [tempo (s)]	$keff$	Iterações [tempo (s)]	$keff$
1.4	1024	705 [69]	0,92711	137 [20]	0,92711	142 [69]	0,92711
	2304	1580 [752]	0,92717	134 [167]	0,92717	143 [480]	0,92717
	4096	2844 [4320]	0,92719	135 [760]	0,92719	146 [1952]	0,92719
1.5	1024	636 [59]	0,92711	111 [22]	0,92711	118 [63]	0,92711
	2304	1315 [650]	0,92717	113 [178]	0,92717	118 [439]	0,92717
	4096	2467 [4166]	0,92719	111 [657]	0,92719	118 [1769]	0,92719
1.6	1024	718 [73]	0,92711	134 [15]	0,92711	129 [68]	0,92711
	2304	1616 [820]	0,92717	129 [131]	0,92717	129 [481]	0,92717
	4096	2864 [8648]	0,92719	134 [658]	0,92719	129 [1933]	0,92719

Tabela 3 - Resultados para o benchmark EPRI9-2D com aceleração do termo de fonte de fissão.

ω_f	Nº de Elementos	Solver					
		SOR ($\omega = 1.45$)		Crout		Gradiente Conjugado	
		Iterações [tempo (s)]	$keff$	Iterações [tempo (s)]	$keff$	Iterações [tempo (s)]	$keff$
1.4	896	1676 [150]	0,90205	80 [13]	0,90205	80 [81]	0,90205
	2016	2865 [1200]	0,90207	80 [120]	0,90207	80 [550]	0,90207
	3584	4794 [8040]	0,90208	81 [660]	0,90207	83 [2575]	0,90208
1.5	896	1311 [123]	0,90205	106 [15]	0,90205	105 [136]	0,90205
	2016	2833 [1238]	0,90207	106 [136]	0,90207	106 [867]	0,90207
	3584	5050 [8820]	0,90208	107 [670]	0,90207	107 [3203]	0,90208

	896	1466 [150]	0,90205	141 [17]	0,90205	143 [145]	0,90205
1.6	2016	2956 [1457]	0,90207	143 [144]	0,90207	143 [1033]	0,90207
	3584	5034 [9180]	0,90208	143 [693]	0,90207	143 [3617]	0,90208

Tabela 4 - Resultados para o benchmark Homogeneous Reactor com aceleração do termo de fonte de fissão.

Analisando as tabelas 3 e 4, percebe-se a aceleração de fonte obteve um excelente desempenho em todos os métodos utilizados para resolver o sistema de equações. Em todos os casos, com um número de iterações de fluxo e um tempo computacional consideravelmente menor. A aplicação da aceleração, como podemos ver, não causa perturbação na solução numérica da Eq.(1) nos casos dos métodos SOR e Crout, tornando-a assim, vantajosa para se obter um menor custo computacional. No caso do método dos Gradientes Conjugados, vê-se que em si ele já possuiu uma precisão inferior ao valor de referência da literatura do k_{eff} . Porém, Aplicando-se a aceleração na fonte, é possível se atingir uma precisão semelhante aos métodos SOR e Crout, e, mais uma vez, mostrando o benefício de se utilizar métodos para acelerar a convergência dos resultados.

5 | CONCLUSÃO

Os resultados obtidos apontam $\omega_f = 1.5$ e $\omega_f = 1.4$ como um valor ótimo para os benchmarks EPRI-9 e Homogeneous Reactor, respectivamente. Em geral, comparando os métodos de resolução de sistemas de equações utilizando a aceleração da fonte, temos que os resultados numéricos obtidos são extremamente próximos, entretanto, os métodos do gradiente conjugado e principalmente o SOR, em termos de tempo computacional, têm uma convergência mais lenta sem utilizar o método de aceleração de fonte. Desta forma, com base nas informações obtidas nas simulações numéricas, é possível notar que o que o método de Crout é superior comparado aos outros dois já citados, levando em consideração os resultados obtidos como o número de iterações e principalmente o tempo total necessário a execução das simulações.

REFERÊNCIAS

Cantanhêde, S.V.P., (2017). “Método dos Gradientes Conjugados Aplicados a Sistemas Lineares”, Proceeding Series of the Brazilian Society of Applied and Computational Mathematics, Vol. 5, N. 1, Gramado – RS, 2.

Duderstadt, J.J., & Hamilton, L.J., (1976). “Nuclear Reactor Analysis.”, Departament of Nuclear Engineering, The University of Michigan, Ann Arbor, Michigan.

Han, S., Dulla, S., & Ravetto, P. (2009). “Computational methods for multidimensional neutron diffusion problems”. Science and Technology of Nuclear Installations, 7.

Holm, S. (1959). "Nuclear reactor theory". Nuclear Physics (Vol. 10), Tokyo Institute of Technology.

Khalil, H.S., (1982). "The application of Nodal Methods to PWR Analysis." (PhD thesis). Department of Nuclear Engineering, Massachusetts Institute of Technology.

Pessoa, P. O., Araujo, L. M., & Silva, F. C. (2018). "A strategy for pin power reconstruction based on classic Galerkin variational formulation". *Progress in Nuclear Energy*, 104, 251–263.

Lewis E.E. & Miller W.F. Jr., (1984). "Computational Methods of Neutron Transport", A Wiley-Interscience publication, 43-95.

Liu, I-S., Rincon, M.A., (2013). "Introdução ao Método dos Elementos Finitos – Computação e Análise em Equações Diferenciais Parciais", Instituto de Matemática, UFRJ, Rio de Janeiro. 140-146.

Roza, M.P., (2013). "Solução da Equação da Difusão de Nêutrons pelo método de Diferenças Finitas de Malha Grossa Analítica", Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 8-11.

ANÁLISE DE DESEMPENHO E AVALIAÇÃO DOS PROTOCOLOS DE REDES DE SENSORES SEM FIO EM *SMART GRIDS*

Álison De Oliveira Alves

Universidade do Estado do Rio Grande do Norte,
Departamento de Computação
Natal – Rio Grande do Norte

Felipe Denis Mendonça De Oliveira

Universidade do Estado do Rio Grande do Norte,
Departamento de Computação
Natal – Rio Grande do Norte

PERFORMANCE ANALYSIS AND EVALUATION OF WIRELESS SENSOR NETWORKS PROTOCOLS APPLIED ON *SMART GRIDS*

RESUMO: As Redes de Energia Inteligentes (*Smart Grids*) permitem o monitoramento entre a concessionária de energia e os dispositivos eletroeletrônicos utilizados pelos clientes, favorecendo uma gestão eficaz do sistema elétrico melhorando, assim, a eficiência energética e minimizando os custos. Este trabalho tem como objetivo observar o comportamento dos protocolos de roteamento AODV, AOMDV, DSDV e HTR utilizados em Redes de Sensores sem Fio (RSSF) para aplicações de monitoramento em *Smart Grids*, através da simulação de um condomínio residencial. Parâmetros de QoS, e consumo de energia serão testados para apontar o protocolo mais eficiente a ser utilizado.

PALAVRAS-CHAVE: *Smart Grids*, Redes de Sensores sem Fio, Protocolos de Roteamento.

ABSTRACT: Smart Grids allow monitoring of the power utility and consumer electronics devices used by customers, favoring efficient management of the electrical system, thus improving energy efficiency and minimizing costs. This work aims to observe the behavior of the AODV, AOMDV, DSDV and HTR routing protocols used in Wireless Sensor Networks (WSN) for monitoring applications in *Smart Grids*, by simulating a residential condominium. QoS parameters and power consumption will be tested to reach the most effective protocol to be used.

KEYWORDS: *Smart Grids*, Wireless Sensor Network, Routing Protocols.

1 | INTRODUÇÃO

O crescimento da quantidade de produtos eletroeletrônicos em todo o mundo causou um aumento no consumo de energia mundial e este aumento tende a continuar, causando efeitos nocivos, especialmente para o meio ambiente (GHARAVI; HU, 2011). Devido ao avanço de novas tecnologias e das

ferramentas dos sistemas de energia elétrica, surgiu o conceito de Redes de Energia Inteligentes (*Smart Grids*) que ajudam a minimizar os impactos do aumento do custo da energia elétrica e suas consequências para a degradação do meio ambiente (SAUL-RINALDI; LEBARON; CARACINO, 2013).

Uma das aplicações em *Smart Grid* é a responsável por medir a tensão e a frequência fornecida pela rede, bem como o consumo de corrente e potência da residência e os harmônicos destrutivos gerados pela rede doméstica. A conexão com o *Smart Grid* geralmente é feita através de protocolos de redes cabeadas que usam a infraestrutura da rede elétrica (uso de cabos elétricos combinados com os cabos de informação), ou com outras redes de informação disponíveis (telefone, TV a cabo, dentre outras). Os cabos combinados geralmente não estão disponíveis para o cliente, especialmente em condomínios residenciais. Também é importante notar que o uso de redes de informação já existentes gera custos mensais adicionais para o sistema, tornando o tempo de recuperação do investimento do sistema mais longo (SAUL-RINALDI; LEBARON; CARACINO 2013). Neste contexto, a utilização de redes de sensores sem fio (RSSF), especialmente àquelas que trabalham com o padrão IEEE 802.15.4, torna-se uma boa alternativa devido à sua característica de baixo custo, baixo consumo de energia, confiabilidade e facilidade de instalação e configuração (OLIVEIRA; SEMENTE, 2014).

Ao usar uma RSSF com grande número de nós sensores, a adoção de um protocolo de roteamento é necessária para garantir a Qualidade de Serviço (QoS) no monitoramento satisfatório da rede, impactando também o tempo de vida dos nós sensores, em regiões onde a disponibilidade de fonte de energia permanente dos nós seja inviável ou esteja indisponível (OLIVEIRA; SEMENTE, 2014).

Este artigo tem como objetivo realizar a análise de desempenho dos protocolos de roteamento em uma RSSF, buscando o protocolo que melhor se adapte a grade de Redes de Energia Inteligentes (*Smart Grids*) aplicadas a um condomínio residencial. Os protocolos a serem utilizados nas simulações deste trabalho são o AODV (*Ad hoc On Demand Distance Vector Routing*), o AOMDV (*Ad hoc On Demand Modified Distance Vector Routing*) (OLIVEIRA, 2015), o DSDV (*Destination-Sequenced Distance-Vector*) e o HTR (*Heterogeneous Routing Protocol*) (OLIVEIRA, 2015). Estes protocolos são muito utilizados para diversas aplicações de monitoramento que exigem alta eficiência na comunicação e baixo consumo energético (OLIVEIRA; SEMENTE, 2014). O protocolo de roteamento ZBR (*ZigBee Routing Algorithm*) (OLIVEIRA, 2015) vai ser analisado indiretamente através da comparação do AODV com o HTR, uma vez que o ZBR é um protocolo híbrido baseado nestes dois outros protocolos.

Alguns parâmetros de rede principais, tais como a porcentagem de perda de pacotes, taxa de transferência, atraso fim-a-fim, *jitter* e o consumo de energia serão analisados, baseados no estudo desenvolvido em (OLIVEIRA, 2015). A partir dos resultados, será possível determinar qual protocolo de roteamento é o mais

indicado para esta aplicação. A avaliação de desempenho das RSSF será realizada no software de simulação NS2 (*Network Simulator 2*) (KEVIN; VARADHAN, 2007).

A principal contribuição deste trabalho é mostrar um conjunto mais detalhado de testes de QoS no uso de RSSF em *Smart Grids* em cenário de simulação baseado em um ambiente residencial de condomínio de casas. Os trabalhos anteriores nesta área utilizaram apenas ambientes pequenos e simétricos (GHARAVI; HU, 2011) ou não levaram em consideração o consumo de energia em RSSF com muitos nós (OLIVEIRA; SEMENTE, 2014).

Esse trabalho está dividido como se segue: na seção 2 é apresentada uma visão geral dos protocolos de roteamento mais utilizados em RSSF do padrão IEEE 802.15.4. O ambiente de simulação utilizado para a comparação do desempenho dos protocolos de roteamento alvos deste trabalho é discutido e exposto na seção 3. Os resultados das simulações que comparam os parâmetros de QoS alvos deste estudo encontram-se na seção 4. A seção 5 apresenta as considerações finais deste trabalho.

2 | PERSPECTIVAS DOS PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO

O roteamento em RSSF pode demandar mais recursos do que em outras redes sem fio, tais como redes *ad-hoc* móveis ou redes celulares, pelas seguintes razões (SAVVIDES; HAN; STRIVASTAVA, 2001):

- Os nós de uma RSSF normalmente permanecem estacionários após a sua instalação, o que resulta em alterações topológicas previsíveis e pouco frequentes;
- Os nós sensores exigem um gerenciamento cuidadoso dos recursos por causa de suas severas restrições de energia, processamento e armazenamento;
- Os requisitos do projeto de uma RSSF dependem da aplicação porque tais redes são designadas a um tipo específico de aplicação;
- Quase todas as aplicações de RSSF requerem fluxo de dados de sensoria-mento de várias fontes para uma estação base particular e;
- A coleta de dados é, muitas vezes, baseada em localização, portanto a posi-ção correta dos nós sensores é importante. A posição é detectada utilizando métodos baseados em triangulação, através da potência do transceptor e por alguns pontos conhecidos. Também é possível utilizar nós equipados com GPS para esta finalidade. Porém, é desejável dispor de soluções in-dependentes de GPS porque a utilização do GPS gera um consumo de energia adicional.

Devido a estes fatores, novos mecanismos foram propostos para resolver o problema do roteamento em redes de sensores. Esses mecanismos levam em consideração características inerentes das RSSF em conjunto com os requisitos das aplicações e arquitetura. Um esquema de roteamento eficiente irá proporcionar

reduções significativas de custos de energia e melhorar a longevidade da rede. As Técnicas de roteamento propostas na literatura para RSSF utilizam algumas táticas de roteamento que são conhecidas e apropriadas para essas redes, tendo como objetivo minimizar o consumo de energia (JUNHAI; LIU; DANXIA, 2008).

Ao utilizar uma RSSF com um grande número de nós sensores distribuídos em um SG instalado em um condomínio residencial, o uso de um protocolo de roteamento é necessário para garantir QoS no monitoramento satisfatório da rede. Os Protocolos de RSSF podem ser classificados como planos (reativo e proativo), hierárquicos, baseados em localização, e híbridos (HONG; XU; GERLA, 2002).

Nos protocolos de roteamento planos reativos, como o DSR (*Dynamic Source Routing*) (JOHNSON; MALTZ; BROCH, 2001), o AODV (*Ad hoc On Demand Distance Vector Routing*) (18), o R3E (*Reliable Reactive Routing Enhancement*) (NIU et al., 2014) e o HEER (*Hybrid Energy Efficient Reactive Protocol*) (JAVAID et al., 2013), a rota de processamento só acontece quando há informação a ser transmitida. Isso cria rotas adaptáveis que se encaixam ao ambiente e podem sofrer constantes mudanças em uma RSSF, tais como a inserção e remoção de nós. É importante notar que, uma vez que cada nó atualiza sua tabela de rota individual, a topologia da rede é alterada e novas rotas são criadas. Isto implica no processamento constante durante a transmissão de dados, aumentando o consumo de energia e a latência (OLIVEIRA; SEMENTE, 2014).

Os protocolos de roteamento planos proativos, tais como o OLSR (*Optimized Link State Routing Protocol*) (CLAUSEN; JACQUET, 2003), o DSDV (*Destination-Sequenced Distance-Vector*) (PERKINS; BHAGWAT, 1994) e o CCE-LCH (*Distributed Energy Efficient Clustering with Linear Cluster Handling*) (SAJID et al., 2015) atualizam constantemente as informações de roteamento de cada nó para todos os outros nós da rede. Isso cria uma sobrecarga na transmissão desta informação através da rede, consumindo parte da largura de banda da mesma, a fim de manter a tabela de roteamento atualizada (CORDEIRO; AGRAWAL, 2002).

Os protocolos planos normalmente aumentam a quantidade de roteamento e processamento de informações, quando o tamanho da rede cresce. Os protocolos de roteamento hierárquicos, como o HTR (*Heterogeneous Routing Protocol*) (NEFZI; SONG, 2007), o CGRS (*Clusterhead Gateway Switching Routing*) (CHIANG et al., 1997), o LEACH (*Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy*) (HEINZELMAN; CHANDRAKASAN; BALAKRISHNAN, 2000), o HRTS (*Hierarchical Reactive Time Synchronization Protocol*) (ARDAKANI; PADGET; DE VOS, 2013), o LEACH2 (*Low-energy Adaptive Clustering Hierarchy 2*) (KHAN et al., 2015) e o FTE-LEACH (*Fault-Tolerant and Energy-Efficient LEACH*) (OLIVEIRA, 2015) procuram resolver este problema através da criação de *clusters*, que são grupos de nós que funcionam como sub-redes, limitando o tamanho da tabela de roteamento e o tamanho dos pacotes de atualização dentro do grupo. Os *clusters* são tipicamente agrupados de acordo com a proximidade geográfica dos nós.

Cada *cluster* tem um líder, chamado de *cluster head* que se comunica com os outros nós do *cluster* e com outros *cluster heads* da rede (HONG; XU; GERLA, 2002).

Os protocolos de roteamento baseados em localização geográfica, tais como o GEAR (*Geographical and Energy Aware Routing*) (YU; GOVIDAN; ESTRIN, 2001), o GPSR - TPC (*Greedy Perimeter Stateless Routing in Wireless Networks*) (MACEDO et al., 2006) e o LDDP (*A Location-based Directed Diffusion Routing Protocol for Smart Home Sensor Network*) (CHENG et al., 2014), usam o GPS para determinar a posição dos nós e a melhor rota possível. Estes protocolos podem organizar a rede em topologias simples ou hierárquicas, dependendo da disponibilidade dos dispositivos de geolocalização. O uso desses protocolos aumenta o custo do equipamento e o consumo de energia adicional (HONG; XU; GERLA, 2002), devido a adoção do GPS. Assim sendo, estes protocolos não serão testados nas simulações do presente trabalho.

Os protocolos de roteamento híbridos, tais como o DDR (*Distributed Dynamic Routing Algorithm for Mobile ad hoc Networks*) (NIKAEIN; LABIOD; BONNET, 2000), o ZBR (*ZigBee Routing Algorithm*) (ALLIANCE, 2014) e o ZRP (*Zone Routing Protocol*) (CHAUDHARI; JAINI, 2014) possuem características de protocolos planos e hierárquicos e podem ou não usar técnicas de geolocalização. Estes protocolos criam grupos de nós que fazem roteamentos próximos um dos outros, reduzindo assim a sobrecarga da rede. Normalmente, uma abordagem proativa é realizada dentro dos grupos. Quando dois nós distantes estão envolvidos, o percurso é calculado por meio de técnicas de descoberta de rota (HONG; XU; GERLA, 2002).

O ZBR é um dos protocolos mais utilizados na indústria, e adapta-se ao tamanho da rede. Em redes muito pequenas a conexão ponto a ponto é utilizada, e em redes maiores, com a topologia em malha, o AODV é usado. Já em topologias hierárquicas, o HTR é utilizado (ALLIANCE, 2014).

Como as redes SG são geralmente compostas de vários nós, é importante encontrar o protocolo de roteamento que seja mais adequado para esta aplicação, garantindo melhor desempenho e QoS. Os protocolos utilizados nas simulações para esse trabalho são os seguintes: AODV, AOMDV, DSDV e HTR. Estes protocolos são muito utilizados para diversas aplicações, tais como o uso em MANETs (CHADHA; JOON, 2012) e RSSF utilizadas em parques eólicos (OLIVEIRA; SEMENTE, 2014), ou seja, em RSSF que trabalham com grande quantidade de nós sensores. O ZBR vai ser analisado indiretamente através da comparação do AODV com o HTR, uma vez que o ZBR é um protocolo híbrido baseado nestes dois outros protocolos.

3 | AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

Esta seção apresenta o cenário de simulação utilizado neste trabalho. Usando o software *Google Earth* (QI; ZHAI; DANG, 2016), uma imagem de um condomínio

na cidade de Natal/RN, no Brasil foi capturada e os nós sensores foram distribuídos, um em cada habitação (Figura 1).



Figura 1. Cenário de simulação com a distribuição dos nós sensores

Todas as simulações desse trabalho foram feitas na versão 2.35 do NS-2. O NS-2 é uma ferramenta de código aberto para simulação de eventos discretos desenvolvidos pelo grupo de pesquisa do projeto VINT na Universidade da Califórnia em Berkeley (KEVIN; VARADHAN, 2007).

Na simulação, os protocolos de roteamento foram testados inicialmente com 40 nós sensores. Posteriormente, foram acrescentados 78 e, por fim 90 nós sensores, para atestar a eficiência dos protocolos em densidades maiores de nós. O tempo de simulação foi de 3.600 segundos, o protocolo de transporte utilizado foi o UDP e a fonte geradora de tráfego, CBR, já que as RSSF do padrão IEEE 802.15.4 operam apenas em UDP (IEEE, 2015). A área de simulação foi de 170 x 100 metros; o modelo de propagação utilizado foi o *two-ray ground*. O tamanho da mensagem de cada pacote foi setado com 70 bytes. A Tabela 1 resume os parâmetros utilizados na simulação.

Parâmetros	Valor
Padrão de Comunicação	IEEE 802.15.4
Antena	Omni direcional
Tempo de Simulação	3.600s
Área de Simulação	170m x 100m
Modelo de Propagação	<i>Two Ray Ground</i>
Protocolos de Roteamento	AODV, AOMDV, DSDV, HTR
Número de Nós	40, 70 e 90
Taxa de Transmissão	5 pacotes/s
Tamanho do Pacote	70 bytes
Protocolo de Transporte	UDP
Tipo de Tráfego	CBR

Tabela 1 - Parâmetros Usados na Simulação

É importante determinar se a comunicação ocorre no modo “sempre ligado” (sem hibernação dos transceptores de cada nó) ou no modo de transmissão periódica dos dados, intercaladas com a hibernação de transceptores dos nós sensores, exceto o coordenador, que fica permanentemente ligado. Este artigo avaliou ambos os casos.

A transmissão começa nos primeiros 40s e, no modo de hibernação, o tempo em que os transceptores hibernam é de 5s. A fim de melhorar a precisão dos testes, foram realizadas 10 rodadas de 1 hora cada.

Os parâmetros utilizados para avaliar o desempenho dos protocolos de roteamento deste artigo foram: pacotes perdidos (avalia a quantidade de dados perdida entre os nós e o coordenador da rede), vazão (mede a quantidade de dados enviada), atraso fim-a-fim (indica o *delay* entre os nós e o coordenador da RSSF), *jitter* (diferença de tempo entre o *delay* anterior e o atual) e energia residual (mensura a eficiência energética do protocolo de roteamento) (OLIVEIRA, 2015).

4 | RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

Os gráficos abaixo apresentam os resultados das simulações, onde serão analisados e comparados cada protocolo de roteamento utilizado em relação às suas métricas de desempenho.

a. Pacotes Perdidos

A Figura 2 e a Figura 3 mostram a perda média de pacotes nos esquemas de comunicação “sempre ligado” e em modo de hibernação, respectivamente. No modo “sempre ligado”, todos os protocolos de roteamento testados apresentaram um elevado número de perdas de pacotes. A grande quantidade dessas perdas pode ser justificada pela disputa de comunicação e da concessão da permissão para se comunicar com o coordenador. No modo de hibernação, a média de pacotes perdidos diminuiu quando comparado ao modo “sempre ligado”. Em todos os casos, a perda média de pacotes aumenta com a adição de nós.

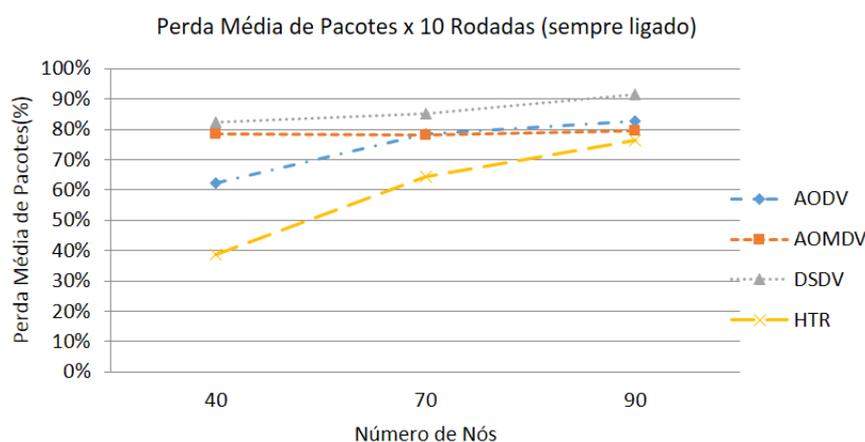


Figura 2. Perda média de pacotes. Modo “sempre ligado”

Tanto no modo de hibernação quanto no modo “sempre ligado”, a média de perda de pacotes do protocolo DSDV é muito alto, porque é um protocolo proativo e precisa manter suas tabelas de roteamento sempre atualizadas, demandando um tempo adicional para atualizá-las. Se algum nó quer enviar pacotes durante este intervalo, esses pacotes são colocados na fila e quando a fila está cheia, os pacotes serão descartados.

No modo de hibernação, apenas o HTR manteve um percentual aceitável de perda, que é inferior à margem de 5% desejável para esta aplicação.

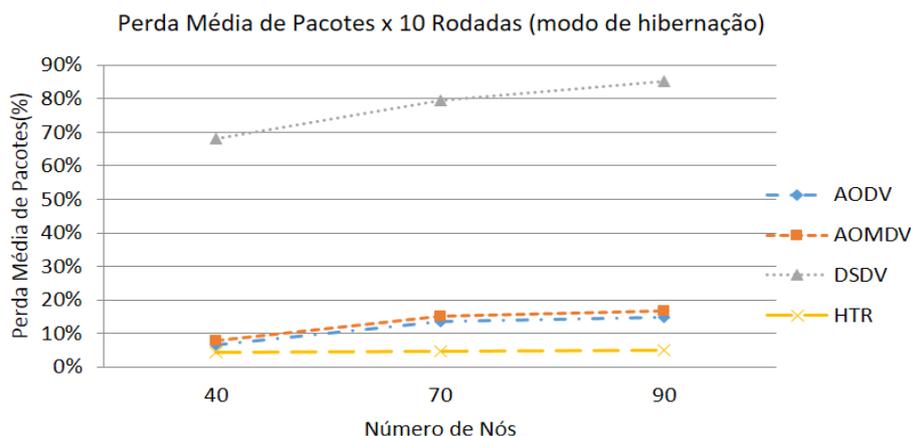


Figura 3. Perda média de pacotes. Modo hibernação

b. Vazão

A vazão média mostrada nas Figura 4 e Figura 5 demonstram que todos os protocolos tiveram uma maior vazão no modo “sempre ligado”.

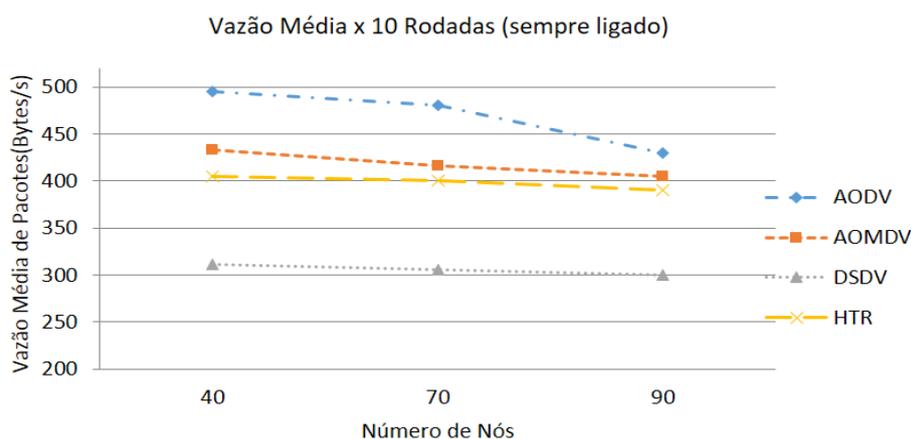


Figura 4. Vazão média de pacotes. Modo “sempre ligado”

No modo de hibernação, o protocolo de roteamento HTR apresentou os melhores resultados, bem próximos do AODV. O DSDV teve o pior rendimento em ambos os modos.

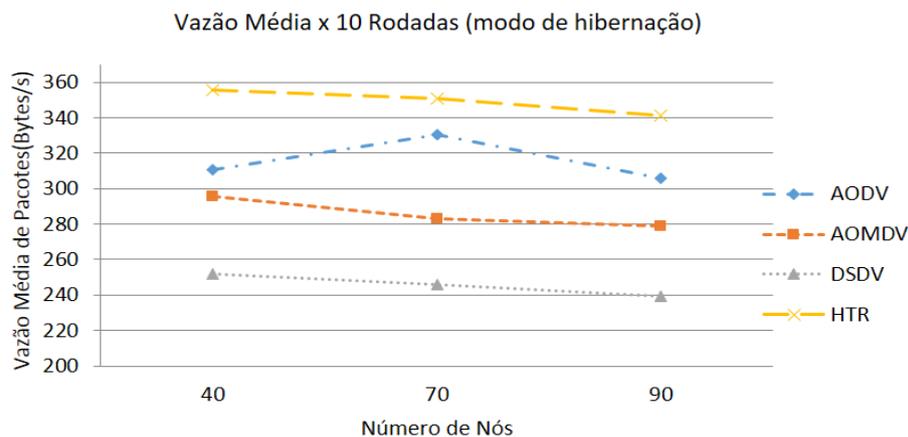


Figura 5. Vazão média de pacotes. Modo hibernação

c. Atraso fim-a-fim

As Figura 6 e Figura 7 mostram uma comparação entre o atraso médio fim-a-fim dos protocolos de roteamento nos modos “sempre ligado” e de hibernação, respectivamente. No DSDV verifica-se uma imediata perda de pacotes devido a uma falha de enlace. O DSDV não é adequado para grandes redes, já que o seu desempenho não é satisfatório em aplicações como as aqui simuladas.

Todos os outros protocolos de roteamento testados apresentaram valores de atraso médio aceitáveis. O protocolo de roteamento hierárquico HTR obteve os melhores resultados neste quesito.

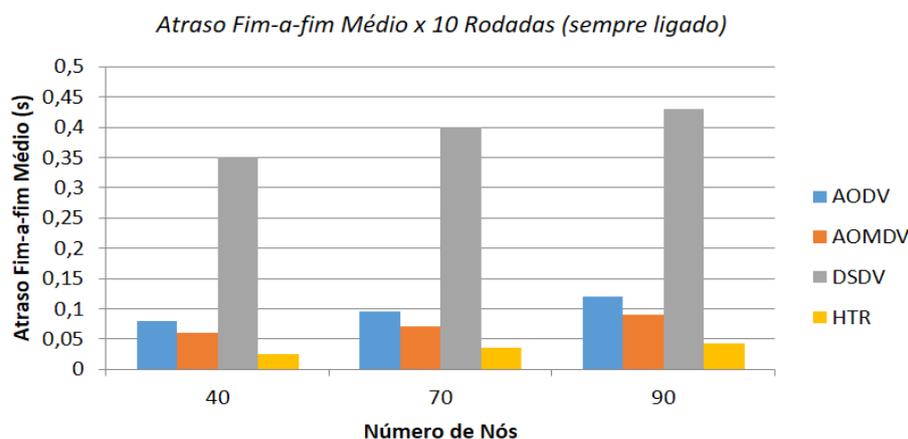
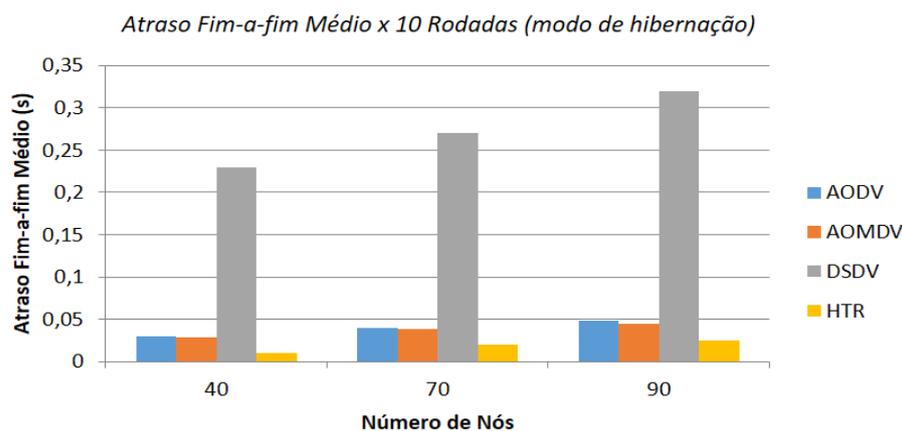


Figura 6. Atraso fim-a-fim médio. Modo “sempre ligado”



d. Jitter

O *jitter* médio mostrado na Figura 8 e na Figura 9 demonstrou que o protocolo DSDV teve o pior resultado, devido à alta densidade de nós da rede que comprometeu o seu desempenho.

Com base nos resultados, é possível notar que em todos os protocolos, exceto no DSDV, o *jitter* médio manteve-se em níveis aceitáveis. O HTR obteve o melhor desempenho.

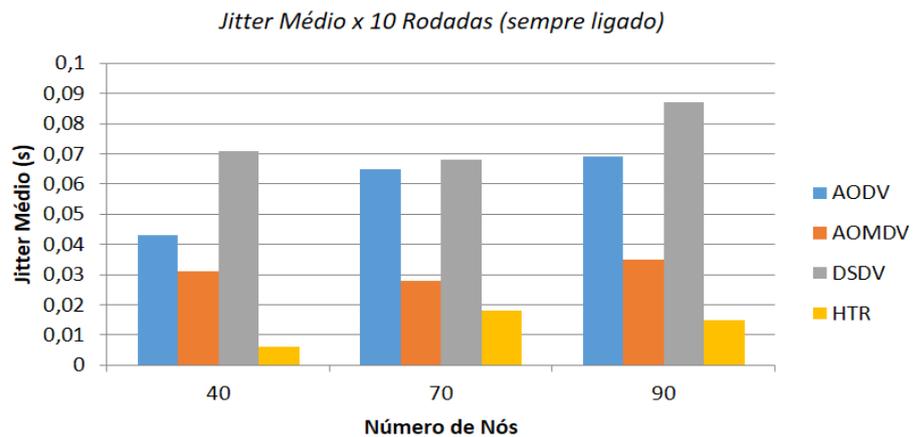


Figura 8. *Jitter* médio. Modo “sempre ligado”

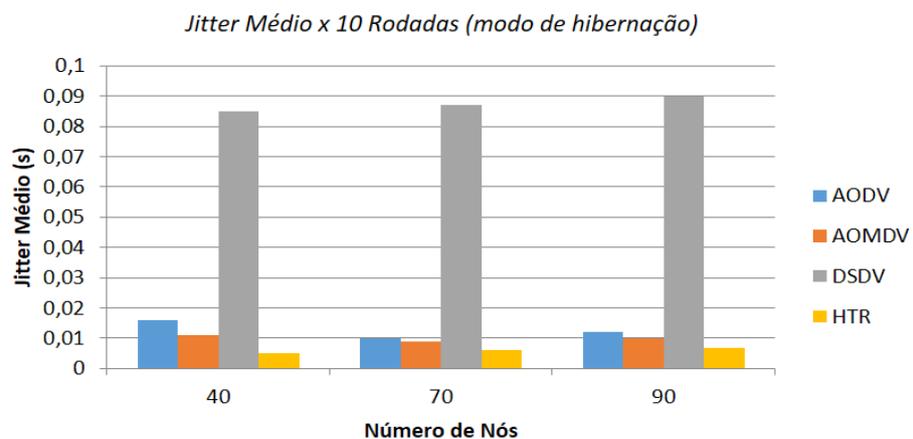


Figura 9. *Jitter* médio. Modo hibernação

e. Energia residual

As Figura 10 e Figura 11 mostram uma comparação entre a energia residual média dos protocolos de roteamento nos modos de comunicação “sempre ligado” e em hibernação, respectivamente.

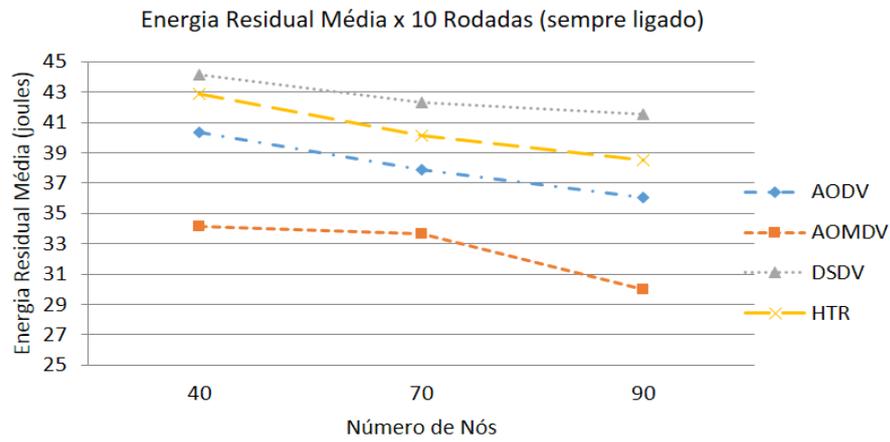


Figura 10. Energia residual média. Modo “sempre ligado”

A energia residual média no modo “sempre ligado” é menor do que no modo de hibernação já que os nós transceptores não hibernam. Portanto, no modo “sempre ligado” o consumo de energia é sempre maior.

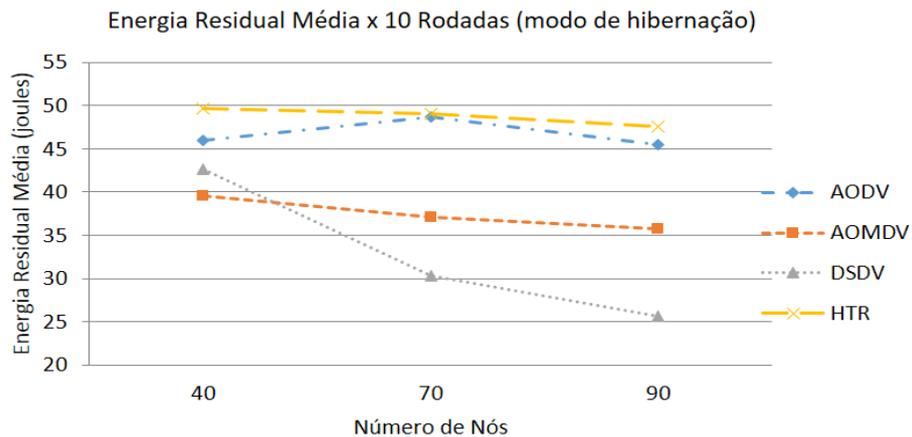


Figura 11. Energia residual média. Modo hibernação

5 | CONCLUSÃO

Este artigo apresentou uma análise sobre a avaliação de desempenho dos quatro protocolos de roteamento mais utilizados em RSSF (AODV, AOMDV, DSDV e HTR), com base no padrão IEEE 802.15.4 aplicado em *Smart Grids* para uso em condomínios residenciais. A simulação foi baseada em uma área real extraída do Google Earth (QI; ZHAI; DANG, 2016). Os parâmetros de desempenho, tais como perdas de pacotes, vazão, atraso fim-a-fim, jitter e energia residual foram testados.

Os resultados apresentados mostraram que o protocolo de roteamento HTR obteve o melhor desempenho quando comparado aos demais protocolos, no esquema de comunicação em hibernação. Devido às características de organização hierárquica do HTR, onde os nós sensores são agrupados em *clusters*, esse protocolo é o mais eficiente em aplicações semelhantes à avaliada neste trabalho.

Como trabalho futuro, pretende-se estudar outras métricas de desempenho em

grandes áreas residenciais e também implementar algumas técnicas para melhorar o consumo de energia.

REFERÊNCIAS

ALLIANCE, Z. **ZigBee specification standard**. Documento técnico, 2014.

ARDAKANI, Saeid Pourroostaei; PADGET, Julian; DE VOS, Marina. **Hrts: A hierarchical reactive time synchronization protocol for wireless sensor networks**. In: International Conference on Ad Hoc Networks. Springer, Cham, 2013. p. 47-62.

CHADHA, Manveen Singh; JOON, Rambir. **Simulation and comparison of AODV, DSR and AOMDV routing protocols in MANETs**. 2012.

CHAUDHARI, Arpit; JAINI, Prachi. **Stealthier attack on zone routing protocol in wireless sensor network**. In: 2014 Fourth International Conference on Communication Systems and Network Technologies. IEEE, 2014. p. 734-738.

CHENG, D.; SONG, Y.; MAO, Y.; WANG, X. **LDDP: A location-based directed diffusion routing protocol for smart home sensor network**. In: The 2014 2nd International Conference on Systems and Informatics (ICSAI 2014). IEEE, 2014. p. 510-514.

CHIANG, C.C.; WU, H.K.; LIU, W.; GERLA, M. **Routing in clustered multihop, mobile wireless networks with fading channel**. In: proceedings of IEEE SICON. 1997. p. 197-211.

CLAUSEN, Thomas; JACQUET, Philippe. **Optimized link state routing protocol (OLSR)**. 2003.

CORDEIRO, C; AGRAWAL, D. **Mobile ad hoc networking**. XX Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, 2002, pp.125-186.

GHARAVI, Hamid; HU, Bin. **Multigate communication network for Smart Grid**. Proceedings of the IEEE, v. 99, n. 6, p. 1028-1045, 2011.

HEINZELMAN, Wendi Rabiner; CHANDRAKASAN, Anantha; BALAKRISHNAN, Hari. **Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks**. In: Proceedings of the 33rd annual Hawaii international conference on system sciences. IEEE, 2000. p. 10 pp. vol. 2.

HONG, Xiaoyan; XU, Kaixin; GERLA, Mario. **Scalable routing protocols for mobile ad hoc networks**. IEEE network, v. 16, n. 4, p. 11-21, 2002.

IEEE, Standard Association. **IEEE 802.15.4 standard**. 2011. Disponível em: <<https://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.4-2011.pdf>>. Acesso em; 10 abr. 2015.

JAVAID, N.; MOHAMMAD, S.N.; LATIF, K.; QASIM, U.; KHAN, Z.A.; KHAN, M.A.. **HEER: Hybrid energy efficient reactive protocol for wireless sensor networks**. In: 2013 Saudi International Electronics, Communications and Photonics Conference. IEEE, 2013. p. 1-4.

JOHNSON, D.B.; MALTZ, D.A.; BROCH, J. **DSR: The dynamic source routing protocol for multi-hop wireless ad hoc networks**. Ad hoc networking, v. 5, p. 139-172, 2001.

JUNHAI, Luo; LIU, Xue; DANXIA, Ye. **Research on multicast routing protocols for mobile ad-hoc networks**. Computer Networks, v. 52, n. 5, p. 988-997, 2008.

KEVIN, F; VARADHAN, K. **The network simulator (ns-2)**. 2007 Disponível em: <<http://www.isi.edu/>>

nsnam/ns>. Acesso em: 20 mai. 2014.

KHAN, K.; SAJID, M.; MAHMOOD, S.; KHAN, Z.A.; QASIM, U.; JAVAID, N. **(LEACH) 2: combining LEACH with linearly enhanced approach for cluster handling in WSNs**. In: 2015 IEEE 29th International Conference on Advanced Information Networking and Applications. IEEE, 2015. p. 394-399.

MACEDO, D.F.; MACEO, P.F.; CORREIA, L.H.; SANTOS, A.L.; LOUREIRO, A.A.; NOGUEIRA, J.M.S. **Um protocolo de roteamento para redes ad hoc com qos baseado no controle da potência de transmissão**. In: Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores. 2006. p. 605-620.

NEFZI, Bilel; SONG, Ye-Qiong. **Performance analysis and improvement of zigbee routing protocol**. IFAC Proceedings Volumes, v. 40, n. 22, p. 199-206, 2007.

NIKAEIN, Navid; LABIOD, Houda; BONNET, Christian. **DDR: distributed dynamic routing algorithm for mobile ad hoc networks**. In: Proceedings of the 1st ACM international symposium on Mobile ad hoc networking & computing. IEEE Press, 2000. p. 19-27.

NIU, J.; CHENG, L.; GU, Y.; SHU, L.; DAS, S.K. **R3E: Reliable reactive routing enhancement for wireless sensor networks**. IEEE Transactions on Industrial Informatics, v. 10, n. 1, p. 784-794, 2014.

OLIVEIRA, F. D. **FTE-LEACH: um protocolo energeticamente eficiente e tolerante a falhas aplicado às redes industriais de sensores sem fio**. 2015.

OLIVEIRA, F., D., SEMENTE, R., S., MELO, T., A., e SALAZAR, A., O.. **QoS analysis of routing protocols in wireless sensor networks in the monitoring of wind farms**. In: 2014 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC) Proceedings. IEEE, 2014. p. 1059-1064.

PERKINS, Charles E.; BHAGWAT, Pravin. **Highly dynamic destination-sequenced distance-vector routing (DSDV) for mobile computers**. In: **ACM SIGCOMM computer communication review**. ACM, 1994. p. 234-244.

QI, Feng; ZHAI, John Z.; DANG, Gaihong. **Building height estimation using Google Earth**. Energy and Buildings, v. 118, p. 123-132, 2016.

SAJID, M.; KHAN, K.; QASIM, U.; KHAN, Z.A.; TARIQ, S.; JAVAID, N. **A new linear cluster handling (LCH) technique toward's energy efficiency in linear WSNs**. In: 2015 IEEE 29th International Conference on Advanced Information Networking and Applications. IEEE, 2015. p. 389-393.

SAUL-RINALDI, K.; LEBARON, R.; CARACINO, J. **Making sense of the smart home**. Making sense of the Smart Home, 2013.

SAVVIDES, Andreas; HAN, Chih-Chieh; STRIVASTAVA, Mani B. **Dynamic fine-grained localization in ad-hoc networks of sensors**. In: Proceedings of the 7th annual international conference on Mobile computing and networking. ACM, 2001. p. 166-179.

YU, Yan; GOVINDAN, Ramesh; ESTRIN, Deborah. **Geographical and energy aware routing: A recursive data dissemination protocol for wireless sensor networks**. 2001.

SÍNTESE DE COMPOSTOS HÍBRIDOS PERILIL-DIHIDROPIRIMIDINONAS ATRAVÉS DA REAÇÃO DE HUISGEN COM FORMAÇÃO DE ANÉIS 1,2,3-TRIAZÓLICOS

Vinicius Vendrusculo

Instituto Federal Sul-rio-grandense
Venâncio Aires - Rio Grande do Sul

Dennis Russowsky

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre - Rio Grande do Sul

(queratinocitos humanos normais) sugerem uma boa seletividade dos compostos em questão, característica essencial aos MFC.

PALAVRAS-CHAVE: Compostos Multifuncionais, Dihidropirimidinonas, Álcool Perílico, Hibridização Molecular.

RESUMO: A síntese de compostos multifuncionais (MFC) é um campo promissor na busca pelo tratamento de doenças multifatoriais. Esse tipo de composto pode ser sintetizado via hibridização molecular de dois núcleos com atividades biológicas conhecidas, podendo proporcionar efeitos sinérgicos na atividade do composto híbrido obtido. As Dihidropirimidinonas (DHPM) possuem conhecida atividade antiproliferativa contra células de câncer, assim como o núcleo perilil, presente no álcool (*S*)-perílico. A união destes dois núcleos utilizando um anel triazol como *linker* produziu os novos compostos híbridos Perilil-DHPM em bons rendimentos. A atividade antiproliferativa contra células tumorais de cinco diferentes linhagens de câncer foi avaliada. Os compostos 7b, 7d e 8b destacaram-se pela promissora atividade antiproliferativa contra as linhagens de células OVCAR-3 (ovário), UACC-62 (melanoma), U251 (glioma), respectivamente. A baixa atividade antiproliferativa apresentada com relação às células não tumorais HaCaT

SYNTHESIS OF PERILLYL-DIHYDROPYRIMIDINONE HYBRID COMPOUNDS THROUGH HUISGEN REACTION WITH THE FORMATION OF 1,2,3-TRIAZOLIC RINGS

ABSTRACT: The synthesis of multifunctional compounds (MFC) is a promising field towards the treatment of multifactorial diseases. These compounds can be synthesized through molecular hybridization of two different molecular cores with known biological activities bringing a possible synergistic effect to the new hybrid compound. Dihydropyrimidinones (DHPM) have known antiproliferative activity against tumor cells as well as the molecule of (*S*)-perillyl alcohol. The hybridization strategy of these two molecular cores through a triazole ring produced the new Perillyl-DHPM hybrids. The antiproliferative activity against five different tumor cell lines was evaluated. Noteworthy, the compounds 7b, 7d and 8b showed a promising

antiproliferative activity against the OVCAR-3 (ovarian), UACC-62 (melanoma) and U251 (glioma) cell lines, respectively. The low activity against the non-malignant cells HaCaT (normal human keratinocytes) suggests a good selectivity of the compounds, which is an essential characteristic to the MFC.

KEYWORDS: Multifunctional compounds, Dihidropirimidinone, Perillyl Alcohol, Molecular Hybridization

1 | INTRODUÇÃO

A indústria farmacêutica tem enfrentado dificuldades no desenvolvimento de novos medicamentos, com quedas de até 50% na aprovação de novas drogas, mesmo com o aumento crescente de investimentos no período (ZHANG, 2005). Um dos motivos apontados como causa para este fato é o planejamento dos fármacos, que tem buscado a construção de moléculas que atuem apenas sobre um alvo molecular específico. Também é conhecido que grande parte das doenças tem causas multifatoriais, ou seja, envolvem diferentes fatores patogênicos, fato este que dificulta o combate com a utilização de drogas que atuem sobre apenas um dos fatores (MAGGIORA, 2011). Uma das alternativas para contornar estes problemas é o emprego de coquetéis de medicamentos que tenham ação efetiva sobre diferentes alvos moleculares. Entretanto, a ocorrência de efeitos colaterais e a baixa adesão dos pacientes são entraves à sua aplicação (BANSAL; SILAKARI, 2014).

Paralelamente, outra alternativa é o design de novos compostos que atuem como drogas multifuncionais (*MFC – Multifunctional compounds*), tendo ação sobre diferentes alvos moleculares no organismo. A minimização dos efeitos colaterais, a menor possibilidade de interação droga-droga, e a possibilidade de efeitos sinérgicos são algumas das vantagens que os fármacos multifuncionais podem oferecer (BANSAL; SILAKARI, 2014).

Dada a complexidade estrutural da maior parte dos MFC, uma alternativa eficaz neste tipo de síntese é a utilização da estratégia de “Hibridização Molecular”. Nesta estratégia, dois compostos previamente sintetizados são unidos através de um *linker*, que pode ser uma conexão estável ou metabolizável entre ambos (BOSQUESI *et al*, 2011).

2 | BLOCOS ESTRUTURAIS DOS COMPOSTOS HÍBRIDOS

Os compostos híbridos sintetizados nesta pesquisa foram projetados a partir da hibridização das Dihidropirimidinonas (DHPM) e do álcool (S)-perílico através de anéis 1,2,3-triazólicos utilizados como *linker*. A escolha desta estratégia foi justificada pela reconhecida atividade biológica apresentada pelas DHPM, pelo álcool (S)-perílico e também pelo anel triazol utilizado como *linker*.

2.1 As Dihidropirimidinonas

As DHPM são heterociclos nitrogenados com grande variabilidade estrutural, tendo seu núcleo presente em muitos compostos naturais e sintéticos. Diversas atividades biológicas têm sido associadas a estes compostos e seus derivados, entre elas, destaca-se a atividade antimitótica contra células de câncer de diversas linhagens (SANDHU, 2012). A figura 1 mostra alguns exemplos de derivados de DHPM bioativos (WRIGHT *et al*, 2008; SASHIDHARA *et al*, 2013; SHAIKH; MESHRAM, 2013; TREPTOW *et al*, 2015).

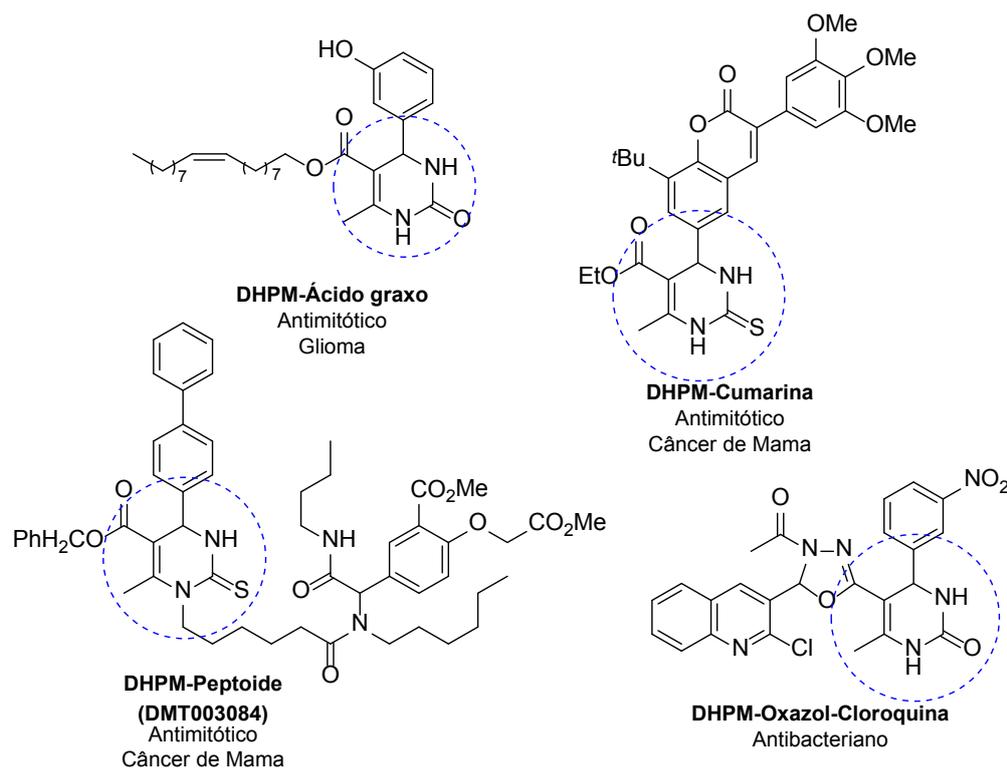


Figura 1: Derivados de DHPM com atividades biológicas

As DHPM podem ser obtidas através da Reação multicomponente (RMC) de Biginelli. As RMC são reações nas quais três ou mais compostos são postos a reagir, e os produtos formados contém a maioria dos átomos dos reagentes, sendo formados por porções dos mesmos. Sendo assim, essas reações permitem a síntese de produtos em um menor número de processos, aumentando assim a eficiência da rota sintética (ZHU; WANG; WANG, 2015). A reação de Biginelli ocorre através da ciclocondensação entre um aldeído, ureia ou tioureia e um composto 1,3-dicarbonílico. Ela foi relatada por seu criador em 1893, e desde então, diversos estudos e modificações em relação à mesma foram relatados, trazendo grande diversidade estrutural e de atividades biológicas em relação aos seus produtos (WAN; LIU, 2010).

2.2 O Álcool Perílico

O álcool (*S*)-perílico (figura 2) é um composto natural isolado do óleo essencial de menta, cereja e de sementes de algumas outras plantas. Diversas atividades biológicas têm sido relatadas na literatura em relação a compostos contendo o núcleo perilil, entre elas a atividade antitumoral, o que faz deste núcleo um bom candidato para a obtenção de compostos multifuncionais (FISCHER *et al*, 2005).

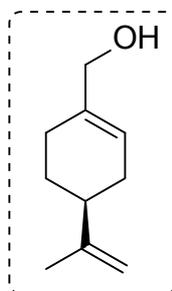


Figura 2: Estrutura do álcool (*S*)-perílico

2.3 Anéis 1,2,3-triazólicos

Tendo sido escolhidos os núcleos a serem unidos no processo de hibridização molecular, precisa-se escolher o grupo que atuará na união dos mesmos, o chamado *linker*. Neste trabalho, utilizou-se anéis 1,2,3-triazólicos. Este grupo traz diversas vantagens, desde a facilidade na sua formação em uma “reação click”, a sua estabilidade em condições fisiológicas normais, a possibilidade de realização de ligações de hidrogênio, além das suas propriedades peptidomiméticas. Essas características sugerem que o anel 1,2,3-triazólico pode desempenhar um importante papel, não apenas como *linker*, mas também contribuindo na atividade biológica do MFC. Trabalhos anteriores relatam compostos com este núcleo com promissoras atividades biológicas anticâncer (ANGELL; BURGESS, 2007).

Os anéis 1,2,3-triazólicos podem ser obtidos via cicloadição 1,3-dipolar de Huisgen, porém, esta reação apresentou diversos problemas em seu início, como altos tempos reacionais e falta de regioseletividade. Em 2001, Sharpless e colaboradores publicaram a catálise desta reação utilizando Cu(I), o que aumentou drasticamente sua velocidade, regioseletividade e tornou mais brandas as condições reacionais. Desta forma, esta reação foi enquadrada no conceito de “reação click”, as quais são reações robustas, seletivas, que ocorrem em condições brandas e são capazes de conectar duas diferentes moléculas (KOLB; SHARPLESS, 2001).

Tendo em vista as reflexões realizadas até aqui, este trabalho teve como objetivo a síntese de novas moléculas híbridas Perilil-dihidropirimidinonas, cujo *linker* entre os núcleos seja um anel 1,2,3-triazólico, conforme mostrado na figura 3.

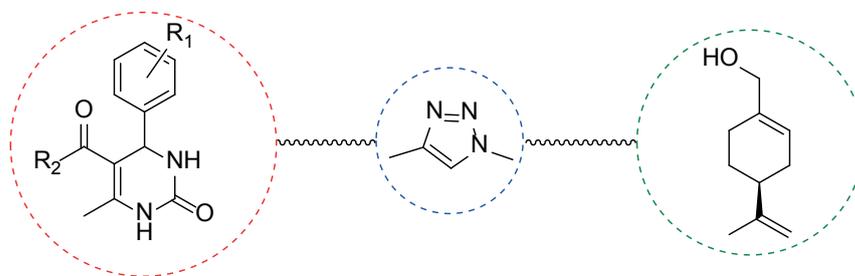


Figura 3: Esquema de hibridização DHPM-Álcool (S)-perílico via triazol

Para se atingir tal objetivo, foi sintetizada uma série de Dihidropirimidinonas com um grupo alcino terminal (propargil), além da produção da molécula da (S)-Perilil Azida. Na sequência, buscou-se a realização da cicloadição 1,3-dipolar de Huisgen para se chegar à síntese dos novos compostos híbridos. Por fim, buscou-se a avaliação de atividade biológica contra diferentes linhagens de células tumorais.

3 | A SÍNTESE DOS COMPOSTOS HÍBRIDOS

O processo foi iniciado pela síntese de DHPMs derivatizadas com um grupo propargil. Para os compostos **4a-e**, realizou-se a síntese de Williamson, utilizando brometo de propargila, obtendo-se assim aldeídos oxi-propargilados com rendimentos entre 84 e 95%, (HANS *et al*, 2010). De posse dos aldeídos propargilados, a rota sintética seguiu o caminho mostrado na figura 4, abaixo.

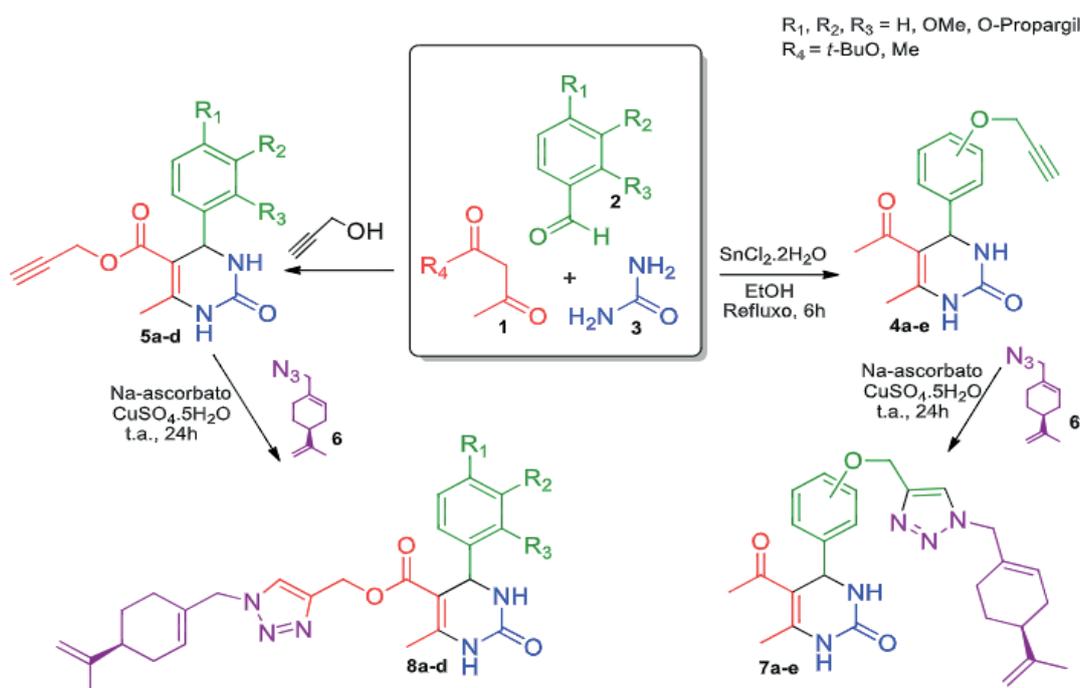


Figura 4: Rotas sintéticas para a obtenção de híbridos Perilil-DHPM

A reação multicomponente de Biginelli com aldeídos oxi-propargilados, ureia e acetil-acetona, na presença de SnCl₂.2H₂O como catalizador, forneceu as DHPM

propargiladas **4a-e** com rendimentos mostrados na Tabela 1. A escolha do catalisador SnCl₂.2H₂O deveu-se aos bons rendimentos obtidos com a utilização de haletos metálicos hidratados, dispensando o uso de condições anidras, conforme estudos anteriores (RUSSOWSKY *et al*, 2004).

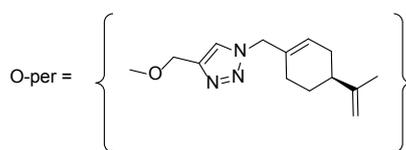
Para a obtenção das DHPM propargiladas **5a-d** foi realizada uma reação tetracomponente na presença de álcool propargílico (RAO; ANJANEYULU; KAUSHIK, 2014). Os resultados são mostrados na tabela 1.

Composto	R ¹	R ²	R ³	Rendimento (%)
4a	O-prop	H	H	89
4b	H	O-prop	H	93
4c	H	H	O-prop	75
4d	O-prop	OMe	H	65
4e	OMe	O-prop	H	62
5a	OMe	H	H	69
5b	H	H	H	70
5c	Br	H	H	62
5d	F	H	H	68

Tabela 1: Rendimento reacional da síntese das DHPM 4a-e e 5a-d

Para inserção do grupo azida, o (*S*)-álcool perílico foi primeiramente transformado no respectivo (*S*)-cloreto de perila na presença de tetracloreto de carbono. Posteriormente, a reação de azidação do (*S*)-cloreto de perila foi conduzida na presença de azida de sódio, e a (*S*)-perilil azida, foi obtida com um rendimento global de 80%.

Por fim, a hibridização molecular entre as DHPM propargiladas e a (*S*)-perilil azida foi realizada via cicloadição 1,3-dipolar de Huisgen catalisada por cobre (I) (MORO *et al*, 2013). Desta maneira, os novos MFC híbridos perilil-DHPM foram obtidos com bons rendimentos, como mostrado na Tabela 2.



Composto	R ¹	R ²	R ³	Rendimento (%)
7a	O-per	H	H	85
7b	H	O-per	H	89
7c	H	H	O-per	90
7d	O-per	OMe	H	67
7e	OMe	O-per	H	76
8a	OMe	H	H	68
8b	H	H	H	67
8c	Br	H	H	75

Tabela 2: Rendimento reacional da síntese dos híbridos Perilil-DHPM 7a-e e 8a-d

Os compostos foram caracterizados por espectroscopia de Infra-Vermelho e Ressonância Magnética Nuclear ^1H e ^{13}C . Os compostos **4a-e** e **5c-d**, por serem inéditos, foram caracterizados por Espectrometria de Massas de Alta Resolução. As sínteses das moléculas **7a-c** e **8a** foram relatadas em estudos iniciais anteriores (VENDRUSCULO *et al*, 2016).

4 | ENSAIOS DE ATIVIDADE ANTIPROLIFERATIVA

Ensaio *in vitro* de citotoxicidade são frequentemente realizados com o intuito de avaliar a atividade biológica potencial de novos compostos concebidos para atuarem no combate a linhagens de células tumorais, incluindo células de câncer (ZAHAREVITZ *et al*, 2002). A citotoxicidade das moléculas híbridas sintetizadas foi avaliada *in vitro* contra cinco linhagens de células tumorais (câncer): UACC-62 (melanoma), U251 (glioma), PC-3 (próstata), OVCAR-3 (ovário) e K-562 (leucemia mielóide). A concentração de TGI (*total growth inhibition* – inibição total de crescimento) foi analisada em relação às células não tumorais - HaCaT (queratinócitos humanos normais) com o intuito de estimar a seletividade dos compostos contra células saudáveis. Os resultados são mostrados na tabela 3. O fármaco Doxorrubicina (DOX) foi empregado como controle positivo.

	UACC-62	U251	PC-3	OVCAR-3	K-562	HaCaT
7a	20,5	20,0	49,3	32,6	9,5	44,5
7b	31,6	30,5	49,8	13,3	27,8	115,7
7c	34,2	30,2	62,0	34,3	135,0	29,5
7d	3,8	77,9	85,7	48,0	28,4	147,9
7e	335,8	397,9	127,7	108,0	486,2	486,2
8a	6,6	5,8	26,0	50,8	12,5	11,7
8b	28,3	19,2	25,2	20,2	51,9	77,4
8c	12,0	11,2	40,0	25,0	280,4	25,6
8d	537,4	31,7	22,2	62,1	182,3	96,1
DOX	1,65	1,19	4,32	1,04	0,37	0,41

Tabela 3: Atividade antiproliferativas *in vitro* (TGI em μM) dos compostos híbridos

Dentre as moléculas descritas, destacam-se os resultados observados para a molécula **7b**, que apresentou valor de TGI (OVCAR-3) de $13,3 \mu\text{M}$ enquanto o TGI (HaCaT) foi de $115,7 \mu\text{M}$. O híbrido **7d** apresentou TGI (UACC – 62) de $3,8 \mu\text{M}$ e TGI (HaCaT) de $147,9 \mu\text{M}$. Por fim, a molécula **8b** apresentou TGI (U251) de

19,2 μM e TGI (HaCaT) de 77,4 μM . Os resultados encontrados em relação a estes híbridos, assim como outros publicados em estudo recente (VENDRUSCULO *et al*, 2018) sugerem que a hibridização entre o núcleo DHPM e o grupo Perilil possui grande potencial para a síntese de novos MFC com boa seletividade, tendo assim potencial para estudos na área de combate ao câncer com geração de menores efeitos colaterais durante o tratamento.

As estruturas das moléculas híbridas sintetizadas são mostradas na Figura 5, abaixo:

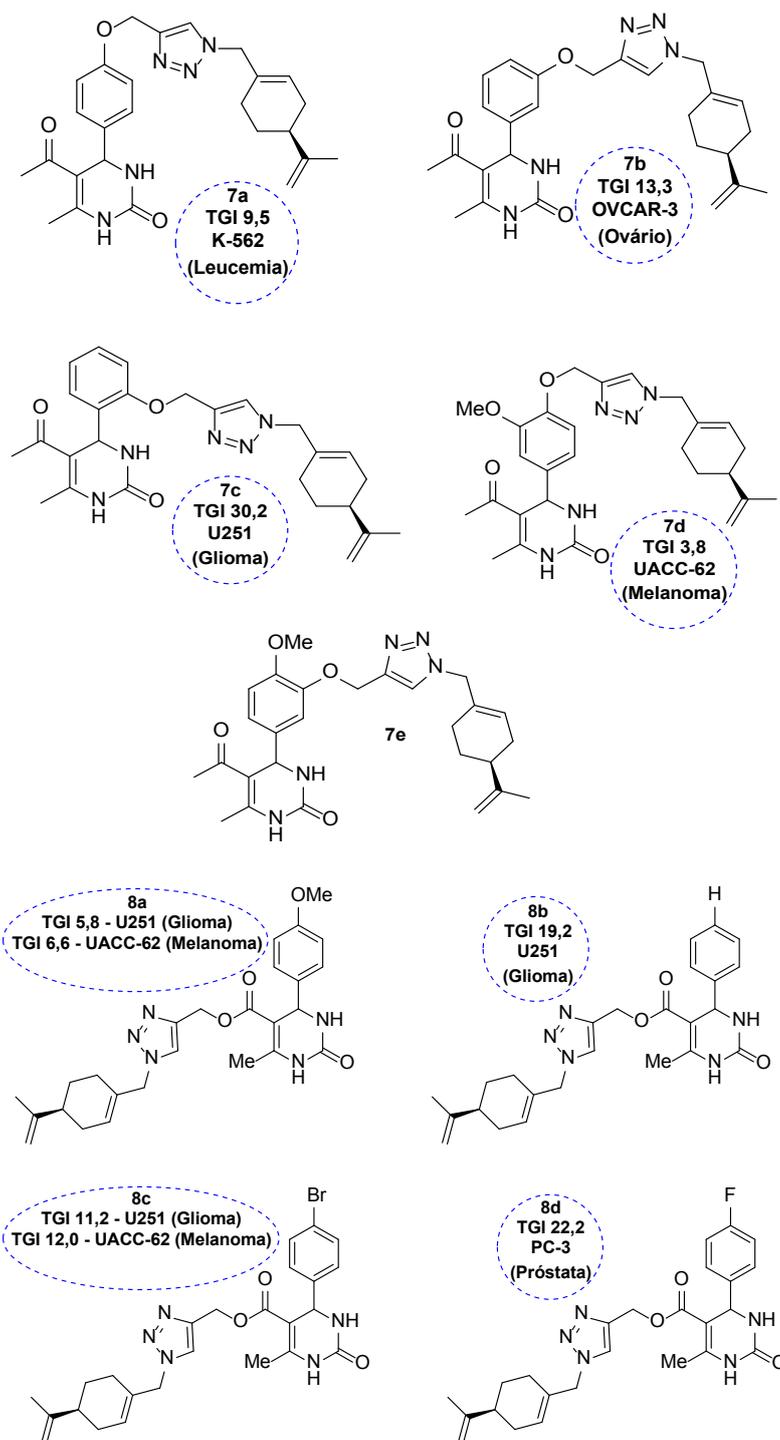


Figura 5: compostos híbridos Perilil-DHPM sintetizados

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

As sínteses dos compostos 7a-e e 8a-d utilizando-se DHPM propargiladas em diferentes posições e perillil azida, foram realizadas com sucesso, obtendo-se bons rendimentos, demonstrando assim que as metodologias propostas para as múltiplas etapas da rota sintética são aplicáveis. A atividade biológica dos MFC sintetizados foi avaliada, dentre os quais, destacaram-se os compostos 7b, 7d e 8b, os quais demonstraram boas atividades antiproliferativas contra células tumorais de diferentes linhagens, tendo ainda boa seletividade em relação às células não tumorais. Novos ensaios de atividade biológica de ciclo celular estão sob avaliação, assim como novas arquiteturas moleculares continuam sendo planejadas com o intuito de verificar o potencial destes híbridos como possíveis futuros fármacos.

REFERÊNCIAS

ANGELL, Yu L.; BURGESS, Kevin. Peptidomimetics via copper-catalyzed azide-alkyne cycloadditions. *Chemical Society Reviews*, v. 36, n. 10, p. 1674-1689, 2007.

BANSAL, Yogita; SILAKARI, Om. Multifunctional compounds: smart molecules for multifactorial diseases. *European journal of medicinal chemistry*, v. 76, p. 31-42, 2014.

BOSQUESI, Priscila Longhin *et al.* Anti-inflammatory drug design using a molecular hybridization approach. *Pharmaceutics*, v. 4, n. 11, p. 1450-1474, 2011.

FISCHER, Juliana de Saldanha da Gama *et al.* Efeito do álcool perílico na expressão gênica de células de adenocarcinoma de pulmão humano. *J Bras Pneumol*, v. 31, n. 6, p. 511-5, 2005.

HANS, Renate H. *et al.* Synthesis, antimalarial and antitubercular activity of acetylenic chalcones. *Bioorganic & medicinal chemistry letters*, v. 20, n. 3, p. 942-944, 2010.

KOLB, Hartmuth C.; FINN, M. G.; SHARPLESS, K. Barry. Click chemistry: diverse chemical function from a few good reactions. *Angewandte Chemie International Edition*, v. 40, n. 11, p. 2004-2021, 2001.

MAGGIORA, Gerald M. The reductionist paradox: are the laws of chemistry and physics sufficient for the discovery of new drugs?. *Journal of computer-aided molecular design*, v. 25, n. 8, p. 699-708, 2011.

MORO, Angélica V. *et al.* Synthesis and photophysical properties of fluorescent 2, 1, 3-benzothiadiazole-triazole-linked glycoconjugates: selective chemosensors for Ni (II). *Tetrahedron*, v. 69, n. 1, p. 201-206, 2013.

RAO, GB Dharma; ANJANEYULU, B.; KAUSHIK, M. P. Greener and expeditious one-pot synthesis of dihydropyrimidinone derivatives using non-commercial β -ketoesters via the Biginelli reaction. *RSC Advances*, v. 4, n. 82, p. 43321-43325, 2014.

RUSSOWSKY, Dennis *et al.* Multicomponent Biginelli's synthesis of 3, 4-dihydropyrimidin-2 (1H)-ones promoted by SnCl₂. 2H₂O. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 15, n. 2, p. 165-169, 2004.

SANDHU, Jagir S. Past, present and future of the Biginelli reaction: a critical perspective. *ARKIVOC*, (i), 66, 2012.

SASHIDHARA, Koeni V. *et al.* Discovery of coumarin–monastrol hybrid as potential antibreast tumor-specific agent. *European journal of medicinal chemistry*, v. 60, p. 120-127, 2013.

SHAIKH, Ambareen; MESHARAM, Jyotsna. Synthesis and pharmacological activity evaluation of oxadiazoles containing substituted dihydropyrimidinone and chloroquinoline moities. *Int J Pharm Sci Res*, v. 4, p. 4607-4614, 2013.

TREPTOW, Tamara GM *et al.* Novel hybrid DHPM-fatty acids: synthesis and activity against glioma cell growth in vitro. *European journal of medicinal chemistry*, v. 95, p. 552-562, 2015.

VENDRUSCULO, Vinicius *et al.* Síntese de compostos híbridos Perilil-Dihidropirimidinonas através da reação de Huisgen com formação de anéis 1,2,3-triazólicos. 39ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química. Goiânia: livro de resumos, 2016.

VENDRUSCULO, Vinicius *et al.* Synthesis of novel perillyl–dihydropyrimidinone hybrids designed for antiproliferative activity. *MedChemComm*, v. 9, n. 9, p. 1553-1564, 2018.

WAN, Jie-Ping; LIU, Yunyun. Synthesis of dihydropyrimidinones and thiones by multicomponent reactions: strategies beyond the classical Biginelli reaction. *Synthesis*, v. 2010, n. 23, p. 3943-3953, 2010.

WRIGHT, Christine M. *et al.* Pyrimidinone-peptoid hybrid molecules with distinct effects on molecular chaperone function and cell proliferation. *Bioorganic & medicinal chemistry*, v. 16, n. 6, p. 3291-3301, 2008.

ZAHAREVITZ, Daniel W. *et al.* COMPARE: a web accessible tool for investigating mechanisms of cell growth inhibition. *Journal of Molecular Graphics and Modelling*, v. 20, n. 4, p. 297-303, 2002.

ZHANG, Hong-Yu. One-compound-multiple-targets strategy to combat Alzheimer's disease. *FEBS letters*, v. 579, n. 24, p. 5260-5264, 2005.

ZHU, Jieping; WANG, Qian; WANG, Meixiang (Ed.). *Multicomponent reactions in organic synthesis*. John Wiley & Sons, 2014.

ANÁLISES DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICAS DA CASTANHOLA

Jonas Soares de Mesquita

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia – IFRO – Campus Calama
(PQ)

Davi Pereira Araújo

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia – IFRO – Campus Calama

Maria Carolina Martins da Silva

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia – IFRO – Campus Calama
(PQ)

RESUMO: É incontestável a importância de aliar prática e teoria no que diz respeito ao ensino e aprendizado de ciências, sobretudo no âmbito da formação profissional de alunos do ensino técnico. A participação em projetos de pesquisa se mostra um mecanismo eficaz no processo de apropriação do conhecimento, possibilitando ao educando um aprofundamento nos estudos. Desta forma, umas das atividades que podem ser exploradas no ensino prático, é a caracterização de espécies de plantas como aplicação dos conhecimentos teóricos, tendo em vista que a biodiversidade ganha, cada vez mais, notoriedade no cenário mundial. Nesse contexto, podemos destacar a *Terminalia*

catappa Linn, pertencente à família das Combretaceae, popularmente conhecida como castanholeira em algumas regiões. Possui frutos constituídos por uma polpa carnosa, semente arredondada e uma casca rígida, que apresentam significativos teores de substâncias bioativas. A presente pesquisa utilizou-se da casca do fruto maduro da castanhola, buscando compreender fatores físico-químicos que podem ser importantes para a determinação do teor nutricional contido no fruto. Os resultados expressam um grande potencial nutricional a respeito da espécie, constatando características que podem torná-la competitiva em maioria das principais amêndoas amplamente comercializadas no mercado regional, nacional e internacional. Ademais, o estudo realizado possibilitou um alinhamento entre teoria e prática no processo de formação profissional de alunos do Instituto Federal de Rondônia a partir da participação efetiva dos estudantes na presente pesquisa.

PALAVRAS-CHAVE: *castanhola; teor nutricional; ensino e pesquisa; teoria e prática.*

INTRODUÇÃO

Ao considerarmos a importância incontestável de aliar prática e teoria no que diz respeito ao ensino e aprendizado de ciências, sobretudo no âmbito da formação profissional

de alunos do ensino técnico, a participação destes em projetos de pesquisa se mostra um mecanismo eficaz no processo de apropriação do conhecimento, possibilitando-o um aprofundamento nos estudos, a busca por novos saberes e permitindo uma formação mais próxima e integrada com o meio científico.

Segundo Amaral, (1996) a Química, por si, já nos revela a importância de introduzir esta espécie de atividade ao aluno, visto que esta ciência se relaciona com a natureza, de maneira que a experimentação proporciona uma compreensão mais científica das transformações que nela ocorrem. Desta forma, umas das atividades que podem ser exploradas no ensino, é a caracterização de espécies diversas de plantas como aplicação prática dos conhecimentos teóricos, tendo em vista que a biodiversidade ganha, cada vez mais, notoriedade no cenário mundial com a constatação de diversas espécies bioativas e com características de fundamental importância na difusão de estudos químicos, farmacológicos e nutricionais.

Dentro desse contexto, a Amazônia apresenta inúmeras espécies nativas de plantas frutíferas que apresentam potencial econômico, tecnológico e nutricional, que vem despertando o interesse de estudos científicos em diversificadas áreas. Nesse contexto, podemos destacar a *Terminalia catappa* Linn, pertencente à família das Combretaceae, popularmente conhecida como castanholeira em algumas regiões. É uma espécie nativa da Índia, porém, por se adaptar bem às condições climáticas e de solo, é facilmente encontrada na região norte do Brasil. Possui frutos constituídos por uma polpa carnosa, semente arredondada e uma casca rígida, que apresentam significativos teores de substâncias com potente ação antioxidante (OLIVEIRA et al., 2000; GUIMARÃES; SILVA, 2008)

Tendo em vista a presença de poucos estudos sobre a espécie cultivada no município de Porto Velho, RO, e a oportunidade de inserção dos alunos do Ensino Técnico Integrado em Química do Instituto Federal de Rondônia em um projeto de pesquisa que possibilitasse a integração entre teoria e prática, foram realizadas análises de características físicas e químicas do fruto supracitado, com o intuito de aliar os conhecimentos científicos teóricos à formação prática destes estudantes, o que proporcionou uma experiência significativa de pesquisa e aprendizagem.

Desta forma, a presente pesquisa utilizou-se da casca do fruto maduro da castanhola, buscando compreender fatores físico-químicos que podem ser importantes para a determinação do teor nutricional contido no fruto. Este enfoque leva em consideração os recorrentes problemas causados à saúde humana devido a ingestão de determinados alimentos e a procura pela consolidação de uma alimentação saudável que contribua para a prevenção de vários transtornos à saúde causados por alimentação inadequada (SILVA et al., 2011). Deste modo, pesquisas por novas alternativas demonstram que espécies da biodiversidade amazônica muitas vezes podem ser inseridas na dieta cotidiana da dos indivíduos.

Mediante o exposto, o procedimento utilizado baseou-se nas análises do Instituto Adolfo Lutz (2008), para a determinação do Teor de Cinzas Totais,

determinação de Acidez Total Titulável, determinação do pH e titulação da amostra para Açúcares Redutores (glicose). Os dados obtidos a partir da análise das cascas dos frutos demonstraram valores nutricionais adequados para a dieta humana, sobretudo por uma expressão de lipídeos funcionais na sua constituição, assim, pôde-se verificar a importância desse estudo por se tratar de um fruto que apresenta excelentes propriedades nutricionais pouco exploradas nesta linha de pesquisa, bem como consolidar um alinhamento entre teoria e prática no processo de formação profissional de alunos do Instituto Federal de Rondônia a partir da participação efetiva na presente pesquisa.

METODOLOGIA

As análises físico-químicas foram realizadas em triplicata, através das quais foram determinadas algumas propriedades da casca in natura, como: umidade, cinzas totais, acidez total titulável, pH, açúcares redutores em glicose de acordo com as normas do Instituto Adolfo Lutz (2008). E os resultados obtidos foram expressos a partir de suas médias e do desvio-padrão entre cada amostra.

Primeiramente, foram pesados 5 gramas da amostra em balança analítica e transferidos para um balão volumétrico de 100 mL, tendo o volume completado com água destilada. Em seguida, homogeneizou-se a solução em agitador magnético e filtrou-se qualitativo. A solução obtida foi armazenada para análise posterior.

O teor de umidade foi determinado utilizando-se o método de secagem em estufa a 105 °C, com a estufa para esterilização e secagem. O equipamento foi ligado para aquecimento prévio. Pesou-se em balança analítica, 5 gramas da amostra em cadinho seco. Utilizando-se de uma pinça, colocou-se os cadinhos na estufa a temperatura de 5°C. Em seguida, transferiu-se os recipientes com amostra para um dessecador com sílica gel para atingir a temperatura ambiente. Depois, os cadinhos com as amostras secas foram pesados. O procedimento foi repetido até a obtenção de uma constância na aferição das massas. Os lados foram coletados a cada intervalo de 1 hora. Descontou-se a massa do cadinho vazio para obter a massa da amostra seca.

O teste de cinzas totais foi realizado em forno mufla, a temperatura de 550°C. O equipamento foi ligado para aquecimento prévio, e em seguida foram pesados em balança analítica, cadinhos de porcelana previamente aquecidos. Na sequência, foram adicionados aproximadamente 5g de amostra. Todas as amostras foram colocadas na mufla até a obtenção de cinzas claras. As amostras foram resfriadas em dessecador contendo sílica gel até temperatura ambiente para posterior pesagem em balança analítica..

Já a determinação de acidez total titulável foi realizada por volumetria de neutralização, utilizando solução padrão de hidróxido de sódio 0,1 mol/L e solução

de fenolftaleína a 1% como indicador.

Foram pesados 5g da amostra em balança analítica e transferidos para um erlenmeyer de 125 ml com 50 ml de água destilada e duas gotas de fenolftaleína 1%. Esta foi titulada com solução padrão de hidróxido de sódio 0,1 mol/L até a obtenção da coloração rosa.

A determinação do pH foi realizada por leitura direta em pHmetro digital, calibrado com soluções tampão de pH 4,7 e 10. Para tal, foram pesados 10g da amostra em balança analítica e adicionados 100 ml de água destilada. Em seguida, a solução foi agitada por alguns minutos. Após repouso de 10 minutos para a decantação, foi realizada a leitura do pH do sobrenadante. Ao final da análise, o eletrodo foi higienizado com água destilada.

O processo para determinação de açúcares redutores em glicose foi necessário a utilização de um erlenmeyer de 250 mL com 10 mL adicionados em solução de Fehling A (solução de sulfato de cobre pentahidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) em meio ácido (H_2SO_4)), 10 mL de solução de Fehling B (solução de tartarato dupla de sódio e potássio ($\text{C}_4\text{H}_4\text{KNaO}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) em meio básico (NaOH)) e 40 mL de água destilada. A solução foi levada ao aquecimento em chapa aquecedora. Ao iniciar a ebulição, a solução foi titulada com a solução da amostra preparada anteriormente sob agitação até a mudança da coloração azul para incolor e com formação de um resíduo vermelho de Cu_2O no fundo do erlenmeyer.

RESULTADO E DISCUSSÃO

A *Terminalia catappa* Linn, é um fruto tropical típico da região norte do Brasil, atraente devido à aparência exótica e sabor refrescante, sendo consumido in natura. Além disso, é indicado na medicina popular contra disenteria grave, adstringente, antipirético dentre outros (Ferreira et al., 2017). Tendo em vista a falta de estudo deste fruto sendo característico de áreas urbanas com função clássica de arborizo, encontrado no município de Porto Velho, foram realizadas algumas análises físicas e químicas, com proposta educacional de pesquisa que teve como objetivo aplicação de conhecimentos teórico em análises físico-químicas para rastrear a qualidade nutricional e funcional deste fruto, isolando seus compostos.

Os fatores avaliados foram a temperatura, o tempo, e a proporção do pH de extração. Os ensaios foram realizados em triplicatas para cada teste físico – químico, sendo que a metodologia utilizada teve como base o Instituto Adolfo Lutz (2008) com modificações. Obtendo uma demonstração significativa em relação ao presente trabalho. Após a finalização dos testes, foi possível obter os seguintes resultados:

	TEOR DE CINZAS	pH	TEOR DE AÇÚCAR	MASSA
1	0.0257%	5,366	13,94	70,43
2	0.0232%	5,531	14,39	70,86
3	0.0277%	6,424	19,43	74,55

Tabela 1. Resultados da análise físico-química

Foram realizados procedimentos de recepção, seleção, lavagem e secagem para os testes físicos – químicos. Para a obtenção do teor de cinzas, utilizou – se do processo de pulverização das amostras utilizando- se mufla a 775°C. Após pronta, isto é, sem nenhum resíduo aparente de matéria orgânica, o conjunto foi retirado da mufla, colocado num dessecador para resfriar, em seguida, as amostras foram pesadas e obteve – se os valores expostos na tabela 1. Consideramos a diferença verificada no valor da terceira amostra como uma possível consequência de um menor tempo de secagem. Em relação ao teor de cinzas secas presente nos alimentos sugere-se que os três testes estão dentro dos parâmetros que têm índice de 0,3% a 2,1% segundo Ferreira (2017). A diferença nos valores de pH das amostras 1 e 2 para a amostra 3 podem estar relacionadas com o alto teor de sais flavílicos de natureza das antocianinas, visto que, se o teor da última amostra fosse abaixo de 5 dificultaria a cristalização e a descoloração, sendo assim, afetaria gradativamente o pH devido a sua variação nos ensaios. Quanto ao teor de açúcar, verifica-se uma diferença de valores entre 13,94 a 19,43, já que os teores determinantes nas frutas têm uma constituinte variação entre si, além disso, a determinação de açúcares é importante porque há uma grande capacidade de reação dessas substâncias com inúmeros componentes dos alimentos que influenciam o valor nutricional.

A *Terminalia catappa* Linn, apresentou resultados com grande potencial nutricional e tecnológico em relação a sua polpa. A busca por fontes alimentícias alternativas e pela utilização de espécies disponíveis em níveis locais tem impulsionado pesquisas com o objetivo de traçar o perfil nutritivo dessas amêndoas. Estudos regionalizados, de modo a explorar espécies acessíveis e muitas vezes subutilizados, são de grande relevância. Assim como outras castanhas, normalmente comercializadas e bastante apreciadas em todo o mundo, as castanhas da amendoeira-do-praia são ricas em lipídios, proteínas, minerais e fibras, além de bastante saborosas.

Diante desses resultados, podemos concluir que o fruto da *T. catappa* pode vir a se constituir numa alternativa promissora para o enriquecimento nutricional de dietas para populações com baixo poder aquisitivo, amenizando dessa forma, a carência

em relação aos nutrientes que fazem parte da composição química dessas espécies.

CONCLUSÃO

As análises físico-químicas de frutos são essenciais para que seja testada a qualidade dos produtos e assim consumidos pela população. As análises realizadas com a Castanhola se mostraram de acordo com as já apresentadas na literatura científica, de maneira que as diferenças nos valores entre padrão e obtidos nos parâmetros de cada teste, devem-se possivelmente a diferença de variabilidade entre os frutos.

A caracterização físico-química de frutos é essencial para que possam vir a ser consumidos pela população. A análise realizada com a Castanhola se mostra relevante, de modo que a diferença nos valores obtidos e seus parâmetros devem-se, possivelmente, a variabilidade entre os frutos. Além disso, estudos como estes, podem incentivar os processamentos deste fruto a nível industrial, e, portanto o despertar da população da região norte para o consumo da Castanhola.

Ademais, o estudo consolidou a importância de entre teoria e prática no processo de formação profissional de alunos do Instituto Federal de Rondônia a partir da participação efetiva na presente pesquisa.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Estado de Rondônia /Campus-Calama e a CNPq pelo desenvolvimento e apoio à pesquisa e a dona Maria José de Mesquita Almeida junto de Jedson Raimundo Oliveira Silva pela contribuição.

REFERÊNCIAS

AMARAL, L. Trabalhos práticos de química. São Paulo, 1996

GUIMARÃES, M. M.; SILVA, M. S. Valor nutricional e características químicas e físicas de frutos de murici-passa (*Byrsonima verbascifolia*). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 28, n. 4, p. 817–821, 2008.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. São Paulo, 2008.

MENEZES, Elizabete W; PURGATTO, Eduardo. Determinação de cinzas em alimentos. 2016. Disponível em: <file:///C:/Users/Gp/Downloads/Aula de CINZAS 2016.pdf>. Acesso em: 10 maio 2018. Disponível em: <http://www.todafruta.com.br/rambutao/>. Acesso em: 11 ago. 2018.

MORAES, L. R. V.; AZEVÊDO, L. C.; SANTOS, V. M. L.; LEITÃO, T. J. V. Estudo comparativo da desidratação de frutas para fins de infusão, por método tradicional e liofilização. *Revista Semiárido de Visu*, v. 2, n. 2, p.254-264, 2012.

OLIVEIRA, J. T. .; VASCONCELOS, I. .; BEZERRA, L. C. N. .; et al. Composition and nutritional

properties of seeds from *Pachira aquatica* Aubl, *Sterculia striata* St Hil et Naud and *Terminalia catappa* Linn 2008.

SILVA, F. D.; PANTE, C. F.; PRUDÊNCIO, S. H.; RIBEIRO, A. B. Elaboração de uma barra de cereal de quinoa e suas propriedades sensoriais e nutricionais. *Alim. Nutr.*, Araraquara. v. 22, n. 1, p. 63-69, jan./mar. 2011.

SEVERINO, Antônio Joaquim. *Metodologia do trabalho científico*. 21^a ed. São Paulo:Cortez, 2000.

TEIXEIRA, Elizabeth. *As três metodologias: acadêmica, da ciência e da pesquisa*. 7. ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2010

USO DE CATALISADORES DE NÍQUEL PARA A RESOLUÇÃO CINÉTICA DINÂMICA DE AMINAS PRIMÁRIAS

Fernanda Amaral de Siqueira

Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP),
Campus Diadema, Departamento de Química,
Diadema - SP

Natália Cavallaro Martins de Sousa

Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP),
Campus Diadema, Departamento de Química,
Diadema - SP

Sania Maria de Lima

Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP),
Campus Diadema, Departamento de Engenharia
Química, Diadema - SP

RESUMO: O presente trabalho teve como objetivo estudar a metodologia de resolução cinética dinâmica (DKR, do inglês Dynamic Kinetic Resolution) de aminas primárias, que constitui um sistema enzima-metal a fim de produzir aminas assimétricas. Esses compostos possuem diversas aplicações na indústria farmacêutica por terem grande potencial biológico. Elas podem interagir com o sistema nervoso central e atuar como agentes antidepressivos, por exemplo. O principal objetivo dessa proposta foi desenvolver novos catalisadores heterogêneos de níquel e estudar suas respectivas atividades catalíticas nas reações de Resolução Cinética Dinâmica de aminas primárias. Dessa forma, foi possível avaliar os rendimentos e excessos

enantioméricos em diferentes condições reacionais como temperatura, tempo e agentes acilantes. Os catalisadores de Ni foram estudados como alternativa aos metais como paládio ou rutênio. DKR de aminas racêmicas pôde ser realizada com a enzima *Candida Antartica lipase B* (CALB), juntamente com o catalisador metálico NiO, contendo diferentes teores de Ni. Diante dos resultados obtidos, foi possível observar que o catalisador mais eficiente foi o que contém 10% de Ni, uma vez que a reação realizada com esse catalisador levou às acetamidas desejadas em rendimentos que variaram de moderados a bons, em excelentes excessos enantioméricos.

PALAVRAS-CHAVE: Resolução cinética dinâmica, aminas primárias, níquel, catálise heterogênea.

USE OF NICKEL CATALYSTS FOR THE DYNAMIC KINETIC RESOLUTION OF PRIMARY AMINES

ABSTRACT: The present work aimed to study the Dynamic Kinetic Resolution (DKR) methodology of primary amines, which constitutes an enzyme-metal system in order to produce asymmetric amines. These compounds have several applications in the pharmaceutical industry because they have

great biological potential. They can interact with the central nervous system and act as antidepressant agents, for example. The main objective of this proposal was to develop new heterogeneous nickel catalysts and to study their respective catalytic activities in the reactions of Dynamic Kinetic Resolution of primary amines. Thus, it was possible to evaluate enantiomeric yields and excesses under different reaction conditions such as temperature, time and acylating agents. Ni catalysts were studied as an alternative to metals such as palladium or ruthenium. DKR of racemic amines could be performed with the enzyme *Candida Antartica* lipase B (CALB), together with NiO metal catalyst, containing different Ni contents. Considering the results obtained, it was possible to observe that the most efficient catalyst was the one containing 10% Ni, since the reaction with this catalyst led to the desired acetamides in yields ranging from moderate to good, in excellent enantiomeric excesses.

KEYWORDS: Dynamic Kinetic Resolution, primary amines, nickel, heterogeneous catalysts.

1 | INTRODUÇÃO

As aminas enantiomericamente puras possuem diversas aplicações na indústria farmacêutica e agroquímica. Elas podem ser utilizadas como agentes de resolução, como blocos de construção para a síntese de compostos biologicamente ativos ou ainda como auxiliares quirais em síntese orgânica [PARVULESCU et al., 2008].

A resolução cinética (KR) é um processo no qual geralmente se usa catalisadores enzimáticos e constitui o método mais amplamente utilizado para a produção de aminas quirais, pois é mais favorável em termos de quimiosseletividade e excesso enantiomérico, quando comparado a métodos alternativos como cristalização diastereomérica ou hidrogenação assimétrica de iminas, enaminas e oximas. Apesar de suas vantagens, a KR enfrenta uma limitação no rendimento máximo que pode fornecer, o qual não ultrapassa 50% do enantiômero desejado [PARVULESCU et al., 2008]. A fim de ultrapassar o limite de 50% de rendimento, a DKR combina a KR enzimática com racemização *in situ* do enantiômero remanescente, levando a um rendimento teórico de 100%.

A combinação de uma acilação enzimática e uma racemização catalítica é um método eficaz para produzir uma ampla gama de enantiômeros puros. Sendo assim, quando os dois processos são realizados simultaneamente, este processo é denominado resolução cinética dinâmica (DKR) [GEUKENS et al., 2013].

O conceito de racemização mais amplamente aplicado na literatura é o sistema redox (Figura 1) [PAMIES E BCKVALL, 2003], que requer o uso de um metal de transição, como complexos de Ir e Ru, que têm sido usados com sucesso em DKR, porém são caros e muitas vezes difíceis de serem reciclados. Paládio é outro metal de transição bastante utilizado e vários exemplos de Pd em diferentes suportes forneceram bons resultados para DKR de aminas. No entanto, esses catalisadores

também são custosos e geralmente reagem mais lentamente com aminas alifáticas, sendo aplicáveis na maioria em aminas benzílicas. Além disso, estes catalisadores possuem tendência em formar aminas secundárias por condensação, o que leva a baixas seletividades [GEUKENS et al., 2013].

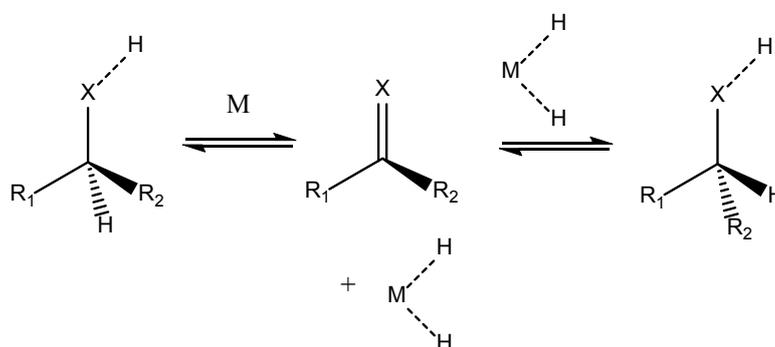


Figura 1: Racemização por sistema redox.

Reetz e Schimossek [REETZ E SCHIMOSSEK, 1996] relataram pela primeira vez a DKR da α -metilbenzilamina empregando paládio sobre carvão e CALB. A DKR necessitou de um tempo de reação longo (8 dias), temperatura entre 50-55 °C e forneceu como produto a (*R*)-*N*-(1-feniletil) acetamida (99% ee) em apenas 64% de rendimento (Figura 2) [PAMIES E BCKVALL, 2003][YANGSOO et al., 2008]. Acetato de etila foi usado como doador acila em trietilamina [AHN et al., 2008].

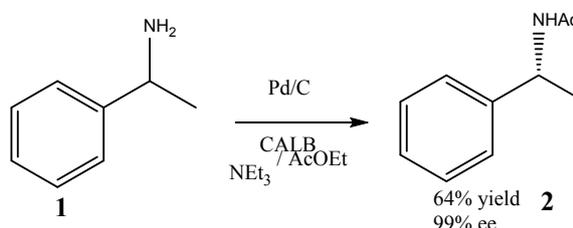


Figura 2. Primeiro exemplo de reação de DKR para amina

Além disso, observaram-se a formação de etilbenzeno e bis (1-feniletil) amina como produtos secundários. As reações secundárias são propostas na Figura 5 em que a racemização ocorre através da desidrogenação da amina e hidrogenação da imina resultante. Bis (1-feniletilamina) é formada pela condensação da amina com a imina, que poderá sofrer hidrogenólise para fornecer etilbenzeno (Figura 3) [AHN et al., 2008].

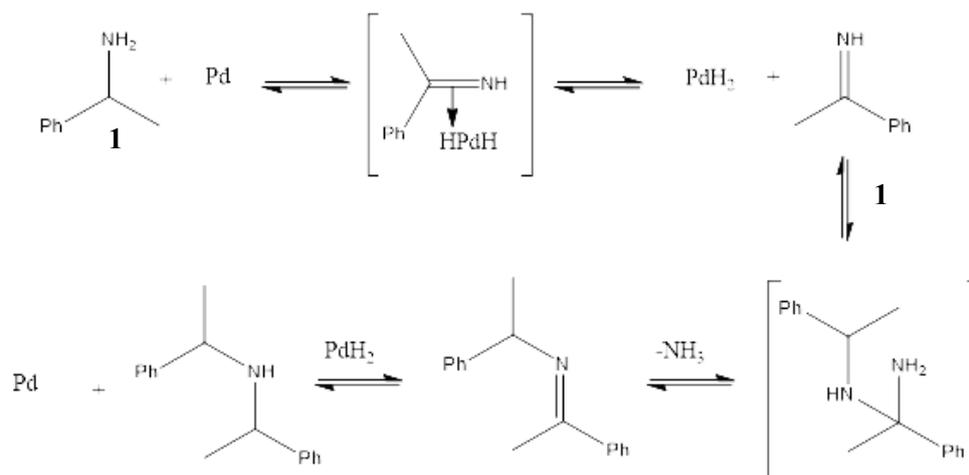


Figura 3: Formação de produtos secundários da DKR da 1-feniletilamina.

Na busca por novos catalisadores, o uso de metais de transição mais baratos apresenta grande vantagem. Um catalisador como o Ni em carvão tem mostrado ser uma alternativa para catalisadores de Pd em várias reações de acoplamento. Pode-se então, explorar o uso de metais Ni ou Co como catalisadores em racemização ou resolução cinética dinâmica. Na literatura de patente, o uso de Ni e Co como óxidos metálicos ou catalisadores Raney foram descritos para racemização de amins quirais, porém o processo é realizado em temperaturas elevadas [PARVULESCU et al., 2008].

Geukens e colaboradores [GEUKENS et al., 2013] relataram um sistema para racemização de amins primárias que explora as propriedades benéficas do níquel. Em comparação com Pd, Ni tem sido raramente utilizado em racemização. Assim como a atividade de nanopartículas de Pd, nanopartículas de níquel foram utilizadas a fim de aumentar a atividade e reduzir a quantidade de catalisador necessária para a reação de racemização em relação ao uso de Ni Raney.

Os ácidos carboxílicos e/ou seus sais têm se mostrado excelentes surfactantes nas sínteses de nanopartículas metálicas [KANG et al., 2006] O uso de sais de sódio da maioria dos ácidos carboxílicos pode conferir hidrofiliabilidade às nanopartículas, demonstrando que as nanopartículas de cobre podem ser obtidas neste meio sem muita dificuldade [KHANNA et al., 2007].

Khanna e colaboradores [KHANNA et al., 2009] relataram a redução de sais de níquel utilizando boroidreto de sódio. Observou-se que as nanopartículas de níquel, com um sal de ácido carboxílico bivalente conduziram a menor probabilidade de oxidação da superfície. Além disso, o uso de um surfactante adequado foi considerado importante para controlar a etapa de nucleação e crescimento das partículas.

2 | OBJETIVOS

O principal objetivo deste trabalho foi desenvolver novos catalisadores

heterogêneos de níquel e utilizá-los nas reações de DKR de aminas primárias, utilizando como modelos a 1-feniletilamina e a 4-fluoro-1-feniletilamina.

3 | PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

3.1 Informações gerais

As aminas racêmicas, a enzima CALB (Novozym® 435), o cloreto de níquel II e o boroidreto de sódio foram adquiridos da Sigma Aldrich®. Os demais reagentes foram obtidos da Synth®.

Os reagentes e solventes foram utilizados como recebidos e, quando necessário, foram purificados de acordo com procedimentos tradicionais.

As purificações por colunas cromatográficas foram feitas utilizando sílica gel 70-230 mesh. Acetato de etila e hexano foram utilizados como fase móvel, em diferentes proporções. As análises por cromatografia em camada delgada foram realizadas em cromatoplasmas de sílica gel sobre alumínio. Luz UV e iodo molecular foram usados para revelação, assim como solução etanólica de ácido fosfomolibdico.

Os espectros de RMN ¹H e ¹³C foram obtidos em um espectrômetro Bruker® (300 MHz), utilizando-se CDCl₃ como solvente e TMS como referência interna.

Para as análises por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas foi utilizado um cromatógrafo Shimadzu GCMS-QP2010 Plus. Já as análises dos compostos quirais foram realizadas em um cromatógrafo a gás TRACE™ 1310 da Thermo Scientific™, com coluna capilar empacotada com β-ciclodextrina.

Os pontos de fusão foram aferidos com um medidor de ponto de fusão digital modelo PFD III da Marte® Científica.

As análises de DRX foram realizadas em um difratômetro Rigaku modelo Miniflex II, utilizando radiação monocromática CuKα ($\lambda = 1,540 \text{ \AA}$), com 2θ variando de 10° a 80°, passo de 0,02° e tempo de contagem de 1 s. Os difratogramas foram comparados com os dados de referência fornecidos pelo banco de dados International Centre for Diffraction Data (ICDD).

3.2 Preparação da solução de succinato dissódico

Em um tubo de ensaio foram adicionados 0,6453 g de ácido succínico, 0,4364 g de hidróxido de sódio e 7,6 mL de água destilada. A mistura foi mantida sob agitação à temperatura ambiente por 30 min.

3.3 Síntese do catalisador NiO com 20% Ni (II)

A solução de succinato de dissódico previamente preparada foi adicionada à solução de cloreto de níquel II com carbonato de magnésio. A reação foi mantida em agitação magnética e aquecimento (60-70 °C) por 10 min. Em seguida uma solução

de boroidreto de sódio em água (162,6 mg/0,30 mL H₂O) foi adicionada gota à gota, até a obtenção de uma solução constantemente preta. A reação foi mantida em aquecimento e agitação por 1 hora. Em seguida, realizou-se uma filtração à vácuo, lavando o precipitado com água destilada e posteriormente com metanol. O sólido foi removido do papel de filtro, e em seguida colocado em um cadinho, o qual foi levado à mufla para calcinação por 4h, sob uma rampa de aquecimento conforme descrito na Tabela 1.

Etapa	Temperatura (°C)	Rampa (min)	Taxa de elevação
1	100	15	10
2	200	25	10
3	300	170	10

Tabela 1: Programa de aquecimento para calcinação dos catalisadores em mufla.

3.4 Síntese do catalisador NiO com 10% Ni (II)

O processo foi realizado igualmente ao descrito para preparar NiO com 20% Ni(II), mas com o uso de 0,3212 g de ácido succínico, 0,2176 g de hidróxido de sódio e 3,8 mL de água destilada e 0,4400 g de cloreto de níquel II, 2,6 mL de água destilada e 1,800 g de carbonato de magnésio.

3.5 DKR da α -metilbenzilamina

As reações de DKR foram realizadas com os catalisadores NiO contendo 20 e 10% Ni(II), alterando-se condições de temperatura, tempo e agente acilante.

Em um tubo de ensaio adicionou-se 0,5 mmol do composto 1, 0,0702 g de catalisador metálico, 0,0600 g de CALB, 0,0532 g de Na₂CO₃, 3,6 mL de tolueno anidro e 0,2 mL de agente acilante (acetato de etila ou acetato de isoamila previamente destilados). O tubo foi fechado com um septo de borracha e parafilm. Em seguida, inseriu-se 2 bexigas de H₂. O tubo foi imerso em banho de óleo à 60 °C, 80 °C ou 100 °C. A solução foi mantida em agitação magnética por 24h, 48h ou 72h. Ao término da reação, filtrou-se a mistura em papel de filtro pregueado. O resíduo sólido foi lavado com 50 mL de acetato de etila e 25 mL de metanol. O solvente foi rotaevaporado. O resíduo obtido foi purificado por cromatografia em coluna de sílica.

As reações foram acompanhadas por cromatografia em camada delgada utilizando uma mistura 7:3 acetato de etila/hexano como eluente (R_f = 0,40). O composto 2 foi obtido como um sólido branco amarelado (p_f= 98-102°C).

RMN ¹H (CDCl₃, 300 MHz) δ : 7,17-7,30 (m, 5H); 5,62 (sl, 1H); 5,06 (m, 1H); 1,92 (s, 3H); 1,42 (d, 3H, J=6,9Hz).

RMN ¹³C (75MHz) δ : 169,2; 143,2; 128,9; 128,9; 127,4; 126,2; 126,2; 48,8; 23,5; 21;4

CG/EM: Pico íon molecular 163 m/z; pico base 106 m/z

3.6 DKR da 4-Fluoro- α -metilbenzilamina

Realizou-se as reações de DKR da 4-fluoro- α -metilbenzilamina conforme procedimento realizado para o substrato 1-feniletilamina, com 0,5 mmol de substrato **4**. O composto **5** foi obtido como um sólido branco (pf= 116-118°C); Rf = 0,34 (hexano/acetato de etila 7:3)

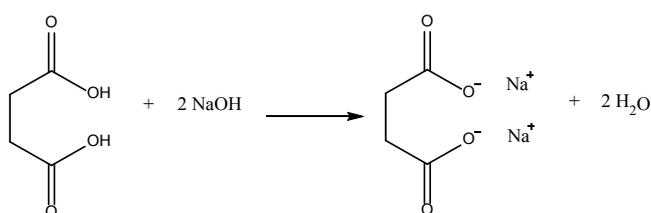
RMN ^1H (CDCl₃, 300 MHz) δ (ppm)= 7,20 (m,2H); 6,94 (m, 2H, $J=9,0\text{Hz}$); 5,78 (s,1H); 5,02 (m, 1H); 1,90 (s, 3H); 1,39 (d,3H, $J=6,0\text{Hz}$).

RMN ^{13}C (75MHz) δ (ppm): 169,2; 162,0 (d, $J=243,8\text{Hz}$); 139,0 (d, $J=3\text{Hz}$); 127,8 (d, $J=8,25\text{Hz}$); 115,4 (d, $J=21,75\text{Hz}$); 48,1; 23,4; 21,8.

CG/EM: Pico íon molecular 181 m/z; pico base 124 m/z

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a síntese dos catalisadores, primeiramente preparou-se o succinato dissódico, a partir de ácido succínico e NaOH em água (Esquema 1), o qual teria a função de surfactante.



Esquema 1

Em seguida, realizou-se uma etapa de redução do cloreto de níquel com boroidreto de sódio, juntamente com o surfactante previamente sintetizado. As partículas foram posteriormente filtradas à vácuo e submetidas a uma rampa de aquecimento na mufla.

Presumiu-se que nessa reação o íon succinato permaneceu ao redor de íons Ni²⁺ para que esses fossem lentamente convertidos a partículas metálicas por meio do processo de redução. O uso de succinato dissódico confere caráter hidrofílico às partículas e conduz a uma menor probabilidade de oxidação da superfície. A utilização de boroidreto de sódio conduz à formação instantânea de partículas sem permitir muitas possibilidades para que o surfactante encapsule a partícula individualmente [KHANNA et al., 2009].

Os estudos das propriedades dependentes do tamanho das nanopartículas metálicas e as suas aplicações para usos no campo de materiais avançados requerem a síntese de partículas com um controle preciso de forma, tamanho, composição e estrutura. Isto pode ser alcançado através de rotas de síntese química. As características das partículas são obtidas pelo controle das etapas de nucleação

e crescimento [VIAU et al., 2001]. A etapa de nucleação se inicia quando a solução precursora se torna supersaturada. A supersaturação leva o sistema químico para um mínimo de energia livre em sua configuração. O estado de equilíbrio termodinâmico é estabelecido através da coalescência das espécies presentes no meio reacional, dando origem aos núcleos [CUSHING et al., 2004] Uma vez formado os núcleos, ocorre a migração de moléculas ou íons do soluto para a superfície dos núcleos formados, iniciando a etapa de crescimento [CUSHING et al., 2004].

Para a caracterização, os catalisadores foram submetidos a uma análise por difratometria de raios-X, cujos difratogramas estão ilustrados na Figura 4.

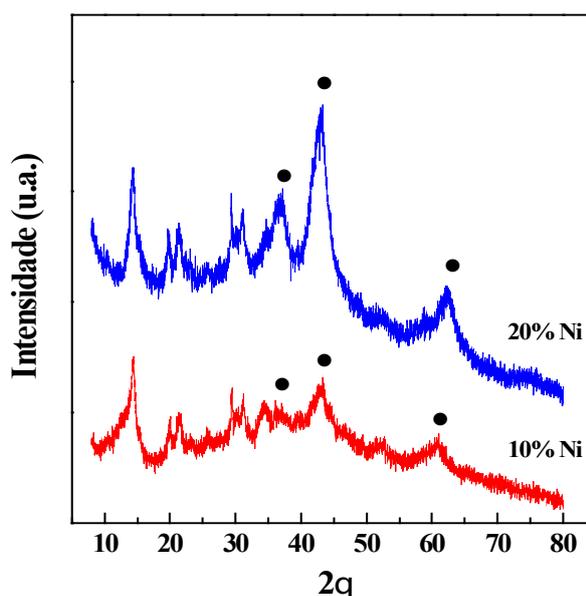


Figura 4. Difratograma de raios-X para as amostras de NiO, 20% Ni e 10% Ni.

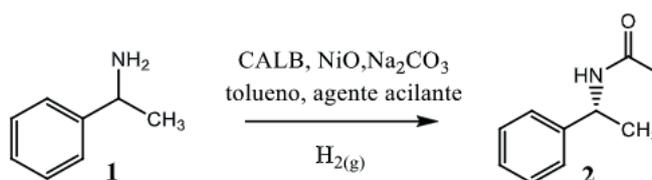
Nos difratogramas de raios-X das amostras analisadas foi possível observar a presença de linhas em $2\theta = 37,2, 43,2$ e $62,8^\circ$, que são características de NiO. Os valores encontrados para 2θ corresponderam aos da literatura para NiO [RIFAYA et al.] [MOHAMMADYANI et al., 2012], indicando de Ni(II) e não de Ni metálico, como esperado.

A cor preta inicialmente atribuída à formação de Ni metálico, pode ser explicada pela formação de NiO não estequiométrico, que como muitos outros óxidos metálicos binários, a razão Ni:O é diferente de 1:1. No óxido de níquel, esta não estequiometria é acompanhada por uma mudança de cor, com o NiO estequiometricamente correto, sendo verde e o NiO não estequiométrico, sendo negro. Com isto, e analisando a formação de NiO pelo Difratograma de raios-X explica-se a formação de um pó escuro e não verde. [MOHAMMADYANI et al., 2012] [GREENWOOD E EARNSHAW et al., 1997].

Utilizou-se o composto 1 como modelo para os estudos iniciais sobre a DKR, variando as condições reacionais buscando conduzir a DKR de forma eficiente,

ou seja, procurando obter a acetamida de interesse em rendimento e excesso enantiomérico satisfatórios.

Inicialmente as reações foram realizadas a 60 °C, com o uso de acetato de etila como agente acilante e tempo de 24 h (entrada 1). O aumento do tempo reacional, bem como a alteração do agente acilante, não levaram a um resultado melhor (entradas 2 e 8). Para as reações promovidas a 80 °C, o melhor rendimento foi obtido com tempo de 24h e na presença de acetato de isoamila (entrada 9). A melhor taxa de conversão foi conseguida ao realizar a reação a 100 °C. Contudo, uma pequena queda na enantiosseletividade foi observada (entrada 6).



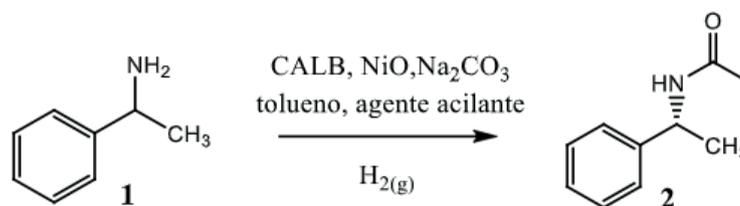
Entrada	T (°C)	Tempo (h)	Agente acilante	$\eta\%$	ee%
1	60	24	Acetato de etila	66	97
2	60	72	Acetato de etila	42	97
3	80	48	Acetato de etila	33	96
4	80	72	Acetato de etila	27	95
5	100	24	Acetato de etila	56	84
6	100	48	Acetato de etila	69	88
7	100	72	Acetato de etila	29	73
8	60	72	Acetato de isoamila	23	97
9	80	24	Acetato de isoamila	63	>99
10	80	72	Acetato de isoamila	39	98

Tabela 1. DKR catalisada por NiO com 20% Ni (II)

Nas reações realizadas em 24 h e acetato de etila (entrada 1-3) observou-se que com o aumento da temperatura contribuiu para a diminuição tanto o rendimento como o excesso enantiomérico.

As condições utilizadas na reação da entrada 4 levaram a alto rendimento e excesso enantiomérico em temperatura menor (60 °C) durante um longo período de tempo (72 h). Diante dessa informação, pode-se perceber que temperaturas menores favorecem a reação no sentido de fornecer melhores rendimentos e excessos enantioméricos, mas com a necessidade de um período de tempo maior.

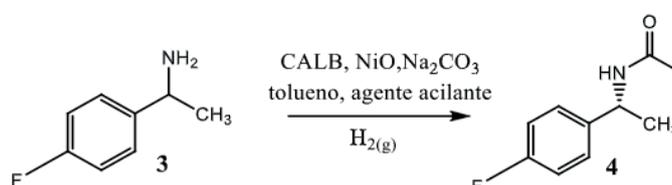
Os resultados apresentados nas entradas 5 e 6 demonstram que mesmo em altas temperaturas o catalisador com 10% Ni (II) manteve excessos enantioméricos em períodos de tempos de 24 e 72h, ao contrário do visto para as reações com o 20% Ni (II).



Entrada	T (°C)	Tempo (h)	Agente acilante	η%	ee%
1	60	24	Acetato de etila	46	97
2	80	24	Acetato de etila	45	95
3	100	24	Acetato de etila	34	81
4	60	72	Acetato de isoamila	65	98
5	100	24	Acetato de isoamila	47	94
6	100	72	Acetato de isoamila	55	98

Tabela 2. DKR catalisada por NiO com 10% Ni (II)

Os estudos sobre a DKR da 4-fluoro- α -metilbenzilamina estão apresentados na Tabela 3. As reações foram realizadas à temperatura de 60 °C, com o uso de acetila e o catalisador 20% Ni(II) (entradas 1 e 2) e com acetato de isoamila e 10% Ni(II) (entrada 3). Os melhores valores de rendimento e excesso enantiomérico foram obtidos para a reação catalisada por 20% Ni (II), com o uso de acetato de etila como doador de grupo acila, após um período reacional de 72h. Nesse caso, acetamida desejada foi obtida em 76% de rendimento e 98% de excesso enantiomérico.



Entrada	Tempo	Agente acilante	η%	ee%	catalisador
1	24h	Acetato de etila	35	99	20% Ni (II)
2	72h	Acetato de etila	76	98	20% Ni (II)
3	24h	Acetato de isoamila	46	99	10% Ni (II)

Tabela 3. DKR catalisada por NiO com diferentes teores de Ni (II) a 60°C.

5 | CONCLUSÃO

Foram preparados e caracterizados catalisadores de níquel contendo 10 e 20% de Ni(II), os quais foram eficazes na etapa de racemização nas reações de DKR. Apesar dos catalisadores preparados não terem Ni metálico como esperado, eles foram ativos frente as reações de DKR, as quais ocorreram em rendimentos e excessos enantioméricos que demonstraram que a reação desejada ocorreu. O catalisador NiO com 20% Ni (II) foi o que apresentou maior eficiência, permitindo a obtenção de produtos em rendimentos de moderados a bons, em excelentes

excessos enantioméricos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UNIFESP – Campus Diadema pela infraestrutura e à FAPESP pelo auxílio financeiro.

REFERÊNCIAS

AHN, Y.; KO, S.B.; KIM, M.J.; PARK, P. **Racemization catalysts for the dynamic kinetic resolution of alcohols and amines.** Coordination Chemistry Reviews. v. 252, p. 647-658, 2008.

CUSHING, B.L.; KOLESNICHENKO, V.L, O'CONNOR, C.J. **Recent advances in the liquid-phase synthesis of inorganic nanoparticles.** Chemical Review. v. 104, p. 3893-3946, 2004.

GEUKENS, I.; PLESSERS, P.; SEO, J.W.; DE VOS, D.E. **Nickel Nanoparticles as Racemization Catalysts for Primary Amines.** European journal of inorganic chemistry. p. 2623-2628, 2013.

GREENWOOD, N.N., EARNSHAW, A. **Chemistry of the Elements**, Pergamon, Oxford, 1997.

KANG, Y.S.; KIM, Y.H.; JO, B.G.; JEONG, J.H. **Synthesis and characterization of Cu nano-particles prepared by thermal decomposition of Cu-Oleate complex.** Int J Nanosci, v. 5, p.339–344, 2006.

KHANNA, P.K.; GAIKWAD, S.; ADHYAPAK, P.V.; SINGH N.; MARIMUTHU, R. **Synthesis and characterization of copper nanoparticles.** Mater Lett. v. 61, p.4711–4714, 2007.

KHANNA, P.K.; MORE, P.; JAWALKAR, J.; PATIL, P.; RAO, N.K.. **Synthesis of hydrophilic copper nanoparticles:effect of reaction temperature.** Springer, p. 793-799, 2009.

MOHAMMADYANI, D.; HOSSEINI, S.A.; SADRNEZHAAD, S.K. **Characterization of Nickel Oxide Nano-Particles Synthesized via Rapid Microwave Route.** International Journal of Modern Physics: Conference Series, v. 05, p. 270-276, 2012.

PAMIES, O.; BCKVALL, J.E. **Combination of Enzymes and Metal Catalysts.** Chemical Reviews, v. 103, p. 3247-3261, 2003.

PARVULESCU, A.N.; JACOBS, P.A.; DE VOS, D.E. Heterogeneous Raney Nickel and Cobalt Catalysts for Racemization and Dynamic Kinetic Resolution of Amines. Full Papers. v. 350, p. 113-121, 2008.

REETZ, M.T.; SCHIMOSSEK, K. **Lipase-Catalyzed Dynamic Kinetic Resolution of Chiral Amines: Use of Palladium as the Racemization Catalyst.** CHIMIA International Journal for Chemistry, n. 12, v. 50, p. 668-669, 1996.

RIFAYA, M.N.; THEIVASANTHI, T.; ALAGAR, M. **CHEMICAL CAPPING SYNTHESIS OF NICKEL OXIDE NANOPARTICLES AND THEIR CHARACTERIZATIONS STUDIES.** Nanoscience and Nanotechnology, v.2, p.134-138, 2012

VIAU, G.; TONEGUZZO, P.; PIERRARD, A.; ACHER, O.; FIÉVET-VINCENT, F.; FIÉVET, F. **Heterogeneous nucleation and growth of metal nanoparticles in polyols.** Scripta matter. v. 44, p. 2263-2267, 2001.

AVALIANDO EM MATEMÁTICA: UM ESTUDO DE CASO NO CENTRO-OESTE MINEIRO

Patrícia Milagre de Freitas

Universidade do Estado de Minas Gerais.

Divinópolis – Minas Gerais.

Leandro Teles Antunes dos Santos

Universidade do Estado de Minas Gerais.

Divinópolis – Minas Gerais.

RESUMO: Com o desejo em obter uma maior clareza nos conhecimentos sobre a prática avaliativa e sua implicação na aprendizagem matemática, esta pesquisa visa analisar os critérios avaliativos dos oitavos anos da Escola Estadual José Gonçalves de Melo na cidade de Itaúna - MG. Tal análise é fundamentada na necessidade de verificar se esses critérios contribuem ou não para que o estudante possa analisar seus avanços com relação à aprendizagem matemática. Os critérios avaliativos muitas vezes são usados para disciplinar os estudantes. No entanto, deveriam fazê-los refletir sobre sua aprendizagem e destacar suas dificuldades, para que diante desses fatos, o estudante juntamente com o professor, pudesse trabalhar buscando a conquista das habilidades e competências que ainda não foram totalmente desenvolvidas. A avaliação como algo punitivo gera um sentimento de revolta e frustração que os levam a uma atitude drástica: a evasão das instituições escolares. Nesse trabalho foi realizada uma

pesquisa, através de um diário de campo com aplicação de questionários, objetivando analisar e compreender através de um estudo de caso como e se os critérios avaliativos são utilizados nas múltiplas formas de avaliação da disciplina de Matemática em uma escola central da microrregião do Centro-Oeste de Minas Gerais.

PALAVRAS-CHAVE: Avaliação. Educação Matemática. Educação Básica. Aprendizagem Matemática.

EVALUATING IN MATHEMATICS: A CASE STUDY IN THE CENTER-WEST OF MINAS GERAIS

ABSTRACT: With the desire to obtain greater clarity in the knowledge about the evaluative practice and its implication in mathematical learning, this research aims to analyze the evaluative criteria of the eighth grade of the José Gonçalves de Melo State School in the city of Itaúna - MG. This analysis is based on the need to verify if these criteria contribute or not so that the student can analyze their advances in mathematical learning. Evaluative criteria are often used to discipline students. However, they should make them reflect on their learning and highlight their difficulties, so that faced with these facts, the student together with the teacher, could work to achieve the skills and

competences that have not yet been fully developed. Evaluation as punitive creates a sense of revulsion and frustration that leads them to a drastic attitude: the avoidance of school institutions. In this work a research was carried out through a field diary with application of questionnaires, aiming to analyze and understand through a case study how and if the evaluation criteria are used in the multiple forms of evaluation of the Mathematics discipline in a central school of microregion of the Center-West of Minas Gerais.

KEYWORDS: Evaluation. Mathematical Education. Basic education. Mathematical Learning.

1 | INTRODUÇÃO

O ato de avaliar está presente em todos os momentos e segmentos da vida humana. Somos seres avaliadores. A todo instante, os seres humanos são obrigados a tomar decisões que, na maioria das vezes, são definidas a partir de julgamentos provisórios.

Avaliar, geralmente, leva em consideração intenções e conceitos próprios do ser humano. Ao avaliar identifica-se para si as verdades e falsidades que interferem no processo da avaliação. O caráter desses juízos é resultado da opinião crítica e apropriada do saber cotidiano. Tais juízos, ao serem assumidos como verdades, podem se alterar e modificar, tanto na atividade social quanto na individual. São definidos, portanto, pelas pessoas com todos os aspectos individuais e pessoais que possuem.

Torna-se necessário ainda discussões em relação ao fracasso escolar. Atualmente, o sistema avaliativo educacional torna-se um grande desencadeador das práticas educacionais. O fracasso escolar origina-se no momento que se utiliza a avaliação sem preocupação com as proporções que irá tomar ou sem critérios que a bem definam, sem considerar os objetivos de promover no educador uma visão geral da aprendizagem dos alunos, e nos alunos uma reflexão dos seus avanços na sua aprendizagem.

O ato avaliativo tem se tornado mito e desafio (HOFFMANN, 1997). Pode-se anunciar que é mito por causa do medo que desenvolve nos sujeitos inseridos neste processo, o pavor de vivenciarem as formas avaliativas. É considerado também desafio, porque devem ser buscadas novas alternativas para modificar o ato avaliativo, tornando-o um recurso auxiliador da aprendizagem.

No caso do educador, os preconceitos estabelecidos em relação à turma e aos alunos isoladamente são responsáveis por tomadas de decisões que implicarão no fluxo estudantil dos educandos para outros estágios nos estudos. Com estes juízos são distribuídos “prêmios”, “castigos”, “punições” e “elogios” conforme a avaliação do professor.

Avaliação, tema muito polêmico no meio acadêmico, torna a cada dia um

eixo de divergências entre educadores, pois existem largas discrepâncias entre a necessidade avaliativa e o processo educacional.

Originalmente, os critérios avaliativos deveriam ser aplicados como auxiliares da verificação da aprendizagem discente, tornando os alunos seres reflexivos e construtores de sua aprendizagem como um todo.

A escola, local idealizado para conduzir o conhecimento aos discentes, com o passar dos anos torna-se um martírio para muitos alunos, sendo que uma das causas deste fato são os instrumentos avaliativos, pois tornaram-se meios de os excluirmos pela nota ou conceitos, uma vez que a proposta dos critérios avaliativos não é objetiva no momento que tais instrumentos são aplicados.

Avaliar hoje é um ato que exige mudanças. Este fato é divulgado nos trabalhos de Hoffmann (1997), Hadji (2001) e Álvarez Mendez (2002) e tantos outros escritores utilizados ao longo deste trabalho. Esse último escritor tem o intuito de desmitificar a avaliação formativa, ou seja, torná-la uma avaliação reflexiva. Autonomia seria, portanto, o fator essencial para que os instrumentos avaliativos qualificassem a aprendizagem, como Freire (1978) propõe.

Os critérios avaliativos tornam-se então uma faca de dois gumes: quando bem aplicados, propiciam uma reflexão por parte dos discentes e como consequência um prosseguimento mais qualitativo em seus estudos. Quando levados ao contrário, podem culminar com o fracasso e desmotivação dos mesmos em avançar nos estudos. Ao professor, os critérios avaliativos também muito podem contribuir, pois proporcionam a este uma análise geral das falhas no processo educacional da aprendizagem dos alunos e impulsionam meios de solucionar e agir na solução das mesmas.

Objetivando verificar quais são os critérios avaliativos e se os mesmos têm contribuído para que os alunos possam refletir sobre seus avanços com relação à aprendizagem Matemática, no oitavo ano da Escola Estadual José Gonçalves de Melo em Itaúna – MG, propõe-se este trabalho que emerge como um estudo bibliográfico, quantitativo e questionador dos critérios avaliativos em instituições escolares.

O processo avaliativo em sua forma final, ao tornar-se classificador, não finaliza o processo ensino-aprendizagem. A função que deve ser repensada é a de permitir a análise crítica da realidade educacional presente no contexto das salas de aulas.

Muitos caminhos ainda deverão ser traçados na educação para dar asas aos alunos para que voem rumo ao conhecimento. São sonhos realizáveis. Talvez os sonhos pareçam utópicos, mas podem tornar-se realidade enquanto ainda existir esperança. E pode parecer sobrenatural, mas para a educação ainda existe esperança...

2 | PRÁTICAS AVALIATIVAS: REFLETINDO SOBRE O CONTEXTO DAS AVALIAÇÕES

Entende-se por avaliação, segundo o dicionário da língua portuguesa Aurélio, como o “ato ou efeito de avaliar; valor determinado pelos avaliadores” (FERREIRA, 1986, grifo nosso). No tocante à educação, as avaliações são em geral a realidade descrita no dicionário Aurélio: um valor determinado pelos avaliadores, sem critérios e desvinculado da aprendizagem dos alunos.

O ato avaliativo tornou-se um mecanismo sádico no meio escolar, uma vez que muitos professores usam de tal processo para “manipular” seus alunos. A avaliação, atualmente, é empregada para aprovar/reprovar, controlar e disciplinar os alunos na maior parte do processo escolar.

O disciplinamento ocorre através de um conjunto de ações sutis, de difícil identificação. A violência simbólica, menos perceptível, dificulta que o sujeito identifique o agressor, o que contribui para que ele vá internalizando um forte sentimento de inferioridade e de culpa por seu fracasso, por suas impossibilidades. Tal compreensão indica um aspecto significativo para a discussão do baixo rendimento escolar nas classes populares. Se o castigo passa efetivar-se através da suspensão dos direitos – o que na escola se traduz em notas baixas, repetência e impedimento (formal ou não) de prosseguimento da vida escolar – é bastante compreensível que tenha um poder muito pequeno para impor a disciplina aos estudantes pertencentes a estas camadas sociais. Eles já têm uma vida cotidiana de *negação* dos direitos mais elementares: alimentação, saúde, trabalho, etc. Tendo como referência uma vida caracterizada pela ausência de direitos, a privação de direitos no dia-a-dia escolar ou a privação de direitos futuros como consequência da não-escolarização, não servem como ameaças suficientes e não exercem pressão bastante para moldá-los às exigências escolares. A vida cotidiana constrói seu sentimento de incapacidade, o fracasso escolar é apenas um fracasso a mais. (ESTEBAN, 2001, p.108, grifo do autor)

A avaliação torna-se um tema muito polêmico no meio acadêmico pois ela é um ponto de divergências entre educadores, já que existem largas discrepâncias entre a necessidade avaliativa e o processo educacional. O ato avaliativo, quando mal-empregado culmina em praticar uma exclusão social, pois muitas vezes cria desigualdades no momento que é empregado, tornando assim uma disfunção entre promoção nos estudos e aprendizagem. Das desigualdades que o ato avaliativo proporciona, pode-se citar por exemplo, a promoção nos estudos de somente os que conseguem através da quantificação imposta pelos centros educacionais, não se levando em conta que muitos alunos compreendem o conteúdo, porém, não conseguem expor suas compreensões, dentro dos padrões avaliativos exigidos.

Os professores são responsáveis pelos meandros educacionais que a avaliação pode tomar. O fracasso/sucesso cria na avaliação uma ambiguidade que muitas vezes pode assumir proporções cada vez mais desastrosas se não forem modificadas.

Assumindo o fracasso escolar como um desafio, é importante avançar no sentido de discutir os mecanismos escolares que o produzem e assinalar movimentos que constituem possíveis alternativas para sua superação. Um aspecto relevante é a atuação docente no processo de avaliação, pois, são os professores e

professoras que a realizam, sendo o resultado deste processo determinante do sucesso ou fracasso escolar dos alunos e alunas. A avaliação tem estreita relação com a interpretação que o/a professor/a faz das respostas dadas, especialmente significativa no caso das crianças que chegam à escola portando estruturas de compreensão diferentes daquelas aceitas pela norma estabelecida. (ESTEBAN, 2001, p.99)

A avaliação muitas vezes cria indivíduos competitivos nas escolas, pois proporciona aos discentes uma “promoção” ou uma “retenção” segundo seus resultados avaliativos, tornando a aprendizagem mecanizada e sem aplicação na vida cotidiana. E muitas vezes a avaliação rotula um indivíduo como inteligente ou não, devido às notas alcançadas.

Teorias norte-americanas sobre avaliação tiveram grande influência no Brasil nos anos 1960 e repercutem até hoje. Um dos estudiosos que tiveram as ideias difundidas por aqui foi Ralph Tyler. Ele propunha a “avaliação por objetivos”. De acordo com esse modelo, o processo se resume a verificar mudanças comportamentais dos alunos. Hoje o que se vê dessa influência é a prática de o professor estabelecer objetivos e verificar, por meio de testes se foram atingidos. As ideias do norte-americano Michael Scriven sobre a necessidade de desenvolver uma avaliação formativa como complemento da somativa foram lançadas em 1967 e tiveram grande impacto no Brasil na década seguinte. Só então começamos a compreender que a avaliação não deve ter como função determinar se o aluno será aprovado ou reprovado. (PELLEGRINI, 2003, p.30, grifo do autor)

A finalidade avaliativa, deve constituir-se como oportunidade em que os discentes podem demonstrar sua evolução com relação aos estudos, predominando a intenção de detectar a aprendizagem adquirida e utilizada de modo significativo pelos alunos. Uma filosofia muito presente nos ramos educacionais detecta que hoje se deve avaliar para conhecer, não para qualificar ou quantificar (ÁLVAREZ MENDEZ, 2002). O ato avaliativo deve servir para subsidiar a tomada de decisões relacionadas à continuidade que o trabalho pedagógico terá, de modo a não decidir quem será excluído do processo avaliativo.

Nos últimos anos, os métodos educacionais afastaram-se da questão social tão presente no início histórico da escola que é a emancipação e ascensão social através do saber. A avaliação escolar torna-se um “instrumento de coerção do poder e controle social, muitas vezes justificando-se “naturalmente” a seleção social, a discriminação e até a punição de determinados grupos.” (LOCH in ESTEBAN, 2001, p. 131, grifo do autor). Ao longo dos anos, as classes sociais mais baixas estão sempre subjugadas no ensino, pois muitas vezes a defasagem da aprendizagem não é suprida e ao longo das avaliações ocorre apenas a desmotivação em prosseguir nos estudos e buscar uma ascensão social através do conhecimento.

3 | APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS AVALIATIVOS NA CIDADE DE ITAÚNA – MG

Buscando analisar na prática como são utilizados os critérios avaliativos em Matemática numa escola pública, foi realizada uma observação dos recursos e critérios

avaliativos e metodologia em uma turma de sétima série da Escola Estadual José Gonçalves de Melo seguida de questionário aplicado a uma professora. Localizada na região central da referida cidade, esta escola possui setecentos e cinquenta alunos distribuídos em dois turnos. A escola apresenta quarenta professores, sendo cinco professores de Matemática e vinte funcionários para realização de tarefas técnicas e administrativas.

Esta escola, fundada em 21/07/1949, tem uma tradição de ensino de quase setenta anos. Mesmo sendo fundada inicialmente para ser uma escola voltada para a educação infantil, ao longo dos anos tornou-se uma escola de 6^a a 9^o ano da Educação Básica.

A professora entrevistada possui uma grande familiaridade com a turma e apresenta cordialidade ao lecionar conteúdos estudados. Analisando algumas avaliações aplicadas por esta professora pode-se verificar que não há critérios avaliativos estabelecidos. A correção consiste em corrigir apenas os erros ou acertos, sendo a nota colocada no canto superior direito.

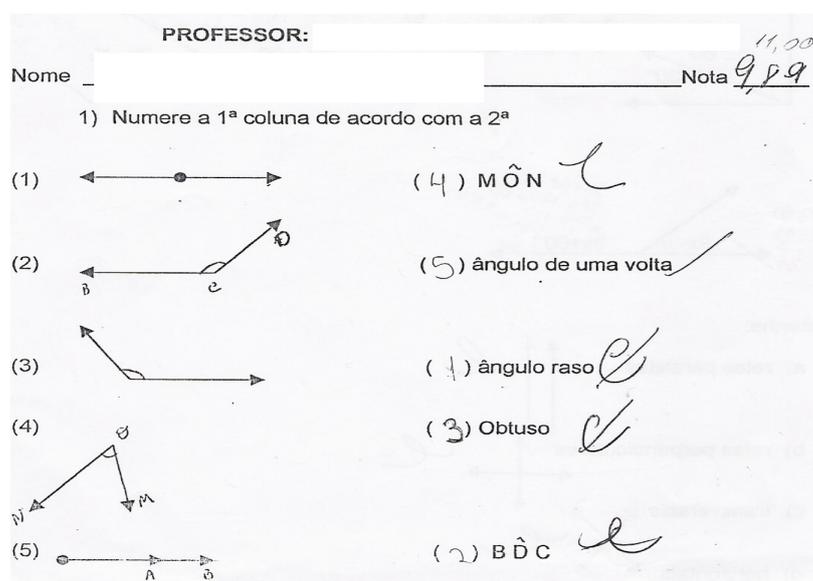


FIGURA 1 – Exemplo de Avaliação da professora pesquisada

Fonte: Arquivo dos autores

A avaliação sem critérios torna-se um emaranhado de escritas, onde o aluno como repetidor transcreve todo o conteúdo que foi ministrado em sala de aula. Com a falta de critérios estabelecidos, torna-se fácil o ato de burlar, tornando assim o ato avaliativo um instrumento mecânico e gradativamente desgastante.

Os alunos são avaliados no oitavo ano da escola referida, através de avaliações escritas, exercícios em sala de aula e deveres para casa, sendo que também são distribuídos pontos de conceito pelo comportamento em sala de aula. Existe uma grande tendência em se usar provas escritas para avaliar conhecimentos e capacidades diferentes. A escola hoje, necessariamente, deve usar diferentes recursos para promover a avaliação da aprendizagem, que não deve jamais ficar

restrita ao uso exclusivo de provas “com papel e lápis”, com perguntas ou exercícios que apenas repetem o conteúdo ensinado em sala de aula.

As avaliações escritas são compostas de exercícios tradicionais (geralmente estes exercícios são descritos com expressões como calcule, resolva, escreva...), os quais os alunos podem resolver mecanicamente não exercendo a reflexão e análise para verificar qual será a melhor decisão a ser tomada para resolver os exercícios.

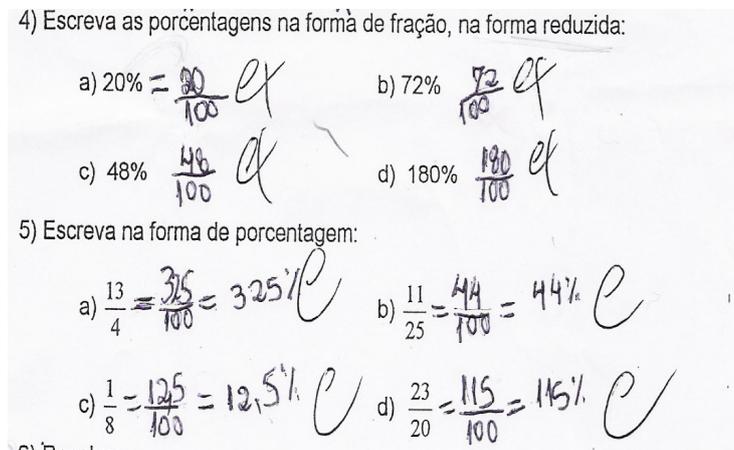


Figura 2 – Formas de enunciado que a professora utiliza em suas provas

Fonte: Arquivo dos autores

A forma como o educador corrige as avaliações é implicitamente necessária para que os educandos possam analisar o seu aprendizado e verificar seus erros. Uma avaliação que visa a qualidade não pode se ater apenas a uma correção, sem lógica ou análise do educador, com relação aos erros dos alunos. Como pode-se verificar na figura abaixo, o aluno utilizou um processo de resolução do exercício de forma correta, porém efetuou cálculos errados implicando que a professora considerasse a questão errada.

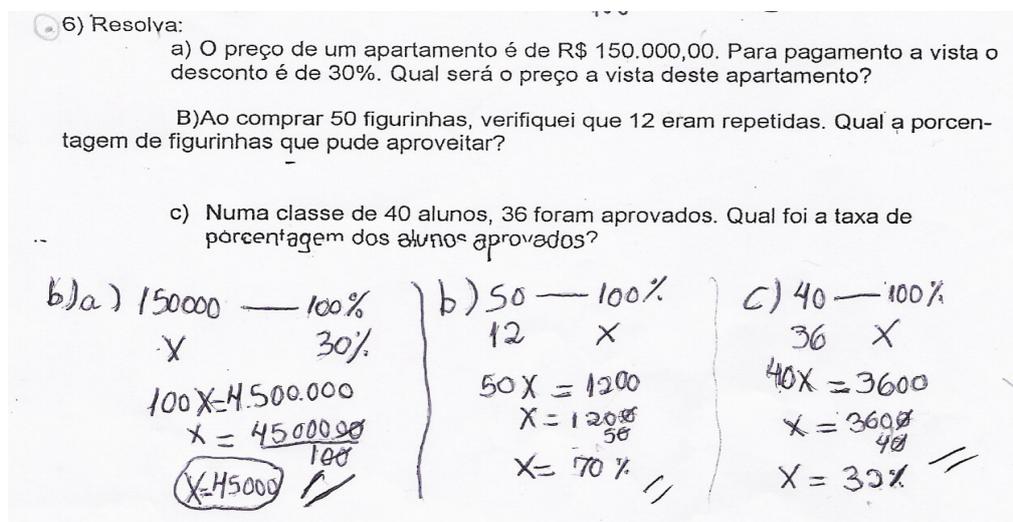


Figura 3 – Correção da professora caracterizando uma correção quantitativa.

Fonte: Arquivo dos autores

A professora pesquisada não utiliza critérios avaliativos para verificar a aprendizagem de seus alunos, constituindo o seu ato avaliativo em exercer uma avaliação classificatória, ou seja, um sistema avaliativo que serve apenas para determinar quem acertou ou errou as questões propostas para avançar nos estudos.

Nota-se o descaso em relação aos critérios avaliativos e que a professora não tem consciência da importância em se avaliar com critérios avaliativos. Infelizmente, o rendimento escolar da maioria das escolas é supostamente avaliado, não permitindo aos sujeitos que mais se interessam nesse processo (alunos e pais), tenham confiança nas informações sobre o desempenho escolar.

A professora corrige as provas, mas não as analisa e não as discute com os alunos. É interessante ressaltar ainda que ensinar e aprender deve ser um processo interativo do aluno com o professor, e o sistema avaliativo, mesmo quando conduzido de maneira informal, é um elemento decisivo e necessário para a aprendizagem.

Ao ser questionada sobre como verifica se um aluno está preparado para prosseguir nos estudos para o ano seguinte, a professora mais uma vez demonstrou sua posição tradicionalíssima, informando que aprova aquele que consegue superar a média escolar. As aulas, não têm constituído um ambiente estimulador e a aprovação/reprovação dos alunos é caracterizada em função de uma nota ou conceito que os professores lançam. O sistema avaliativo acaba por gerar desmotivação dos sujeitos envolvidos no processo ensino/aprendizagem, e muitas vezes, massifica o ensino ao invés de socializá-lo.

Os PCNs propõem uma avaliação contínua e processual, mas infelizmente, os educadores não têm seguido essas orientações em sala de aula. É preciso repensar o conceito de avaliação e quem são os sujeitos implicados no sistema avaliativo.

Nesse sentido, é preciso repensar certas ideias que predominam sobre o significado da avaliação em Matemática, ou seja, as que concebem como prioritário avaliar apenas se os alunos memorizam as regras e esquemas, não verificando a compreensão dos conceitos, o desenvolvimento de atitudes e procedimentos e a criatividade nas soluções, que, por sua vez, se refletem nas possibilidades de enfrentar situações-problema e resolvê-las. Outra ideia dominante é a que atribui exclusivamente ao desempenho do aluno as causas das dificuldades nas avaliações. (BRASIL, 1998, p.54)

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema escolar, enquanto instituição, define-se pela cultura da avaliação. Mesmo que a avaliação tenha uma prática constante na escola, esta não tem almejado indicar ações pertinentes às necessidades sociais de seus agentes. A avaliação torna-se, portanto, o meio e o fim do processo pedagógico, convertendo-se na cultura escolar. Ela torna-se o meio, por ser o único recurso atualmente utilizado para verificar a aprendizagem dos alunos, e promove-se como fim pelo fato de muitas vezes desmotivar os alunos ao prosseguimento dos estudos, gerando frustração e

descrédito pela busca do conhecimento.

O sistema avaliativo incorporado ao processo pedagógico, de forma geral, atualmente, limita o rendimento escolar a identificar os erros e a partir de tal identificação classificar e selecionar os educandos que estão envolvidos como sujeitos no processo.

O fracasso escolar, a repetência e a evasão são então, as consequências mais próximas de tal procedimento. A avaliação muitas vezes termina por sustentar o mito do fracasso escolar. Torna-se um julgamento ou um instrumento de seleção e classificação dos educandos.

Ao interpretar o erro dos alunos deve-se levar em consideração a intenção de enfrentar novos desafios, favorecendo então novas hipóteses e não apenas com o propósito de selecionar os alunos. Os erros devem ser interpretados como uma oportunidade que os alunos têm de interpretar e organizar suas hipóteses, e não como um instrumento para exclusão do sujeito à possibilidade que poderá ter de reelaboração do conceito estudado.

O prazer de aprender desaparece quando a aprendizagem é reduzida a provas e notas; os alunos passam a estudar “para se dar bem na prova” e para isso têm de memorizar as respostas consideradas certas pelo professor ou professora. Desaparecem o debate, a polêmica, as diferentes leituras do mesmo texto, o exercício da dúvida e do pensamento divergente, a pluralidade. A sala de aula torna-se um pobre espaço de repetição, sem possibilidade de criação e articulação de ideias. (GARCIA in ESTEBAN, 2001, p.41, grifo do autor)

A ação de avaliar deve ser entendida como ação essencialmente pedagógica, não se reduzindo apenas a questões de provas, mas ampliando-se em diferentes momentos, em todas dimensões do processo pedagógico. Esta ação confere a qualidade ao processo a partir de seu caráter fundamental, garantindo o seu desenvolvimento e não limitando as possibilidades.

Os critérios avaliativos, quando utilizados pelos educadores, são empregados apenas como um quantificador, capaz de tabular a aprendizagem do aluno através de notas ou valores, a ele atribuído, fato este que tem provocado uma ruptura do aluno em relação ao sistema escolar e a progressão nos estudos. Os critérios avaliativos, geralmente, se baseiam em um fundamento quantitativo, como uma opção de avaliar o aluno mecanicamente, de modo a apontá-lo capaz ou incapaz de prosseguir os estudos com relação aos resultados obtidos nos mesmos, não contribuindo para tornar a aprendizagem mais significativa como propõe os PCNs.

O educador deve sair da sua posição de passivo diante das arbitrariedades educacionais e encarar de frente toda a problemática, buscando alternativas e propostas à serem colocadas em prática.

Somente com ânimo é que as modificações poderão acontecer. É preciso que os educadores se lembrem dos tempos remotos da educação. Tempos difíceis, mas tempos de busca. Tempos de lutas, porém tempos de vitória. Tempos passados, mas que os educadores atuais poderão modificar para que o futuro da educação seja

transformado e vivenciado de uma forma menos excludente e mais significativa.

REFERÊNCIAS

ÁLVAREZ MENDEZ, Juan Manuel. **Avaliar para conhecer, examinar para excluir**. 2 ed. Porto Alegre, RS: Artmed Editora, 2002. 130 p.

BRASIL, Câmara dos Deputados. **LDB: Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional**. Brasília: Câmara dos Deputados, 1996. 102 p.

BRASIL, Secretaria de Educação Fundamental. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Matemática**. Secretaria de Educação Fundamental. Brasília: MEC, SEF, 1998. 142 p.

ESTEBAN, Maria Teresa (org). **Avaliação: uma prática em busca de novos sentidos**. Rio de Janeiro, RJ: DP&A, 2001. 141 p.

ESTEBAN, Maria Tereza (org). **O que sabe quem erra? Reflexões sobre avaliação e fracasso escolar**. Rio de Janeiro, RJ: DP&A, 2001. 188 p.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. **Novo dicionário da língua portuguesa**. 2 ed. Rio de Janeiro, RJ: Ed. Nova Fronteira, 1986. 1838 p.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da autonomia**. São Paulo, SP: Ed. Paz e Terra, 1978. 79 p.

HADJI, Charles. **Avaliação desmitificada**. São Paulo, SP: Artmed Editora, 2001. 132 p.

HOFFMANN, Jussara. **Avaliação: mito e desafio**. 22 ed. São Paulo, SP: Editora Mediação, 1997. 122 p.

HOFFMAN, Jussara. **Avaliação Mediadora: uma prática em construção da pré-escola à universidade**. 7 ed. São Paulo, SP: Editora Mediação, 1995. 191 p.

PELLEGRINI, Denise. **Avaliar para ensinar melhor**. In: *Revista Nova Escola*. São Paulo, SP: Ed. Abril. Jan/Fev 2003 p. 26-33.

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE VIDA NO TRABALHO EM TRABALHADORES DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Andre Luis Martins De Souza
Renata Evangelista
Alexandre Bueno
Ronaldo Marques
Serigne Ababacar
Fellipe Rogério
Hudson Luis

RESUMO: O presente estudo tem como objetivo avaliar a Qualidade de Vida no Trabalho (QVT) entre trabalhadores da construção civil em uma empresa de grande porte da região Centro Oeste. Trata-se de uma pesquisa de natureza exploratória e descritiva, de abordagem quantitativa. A amostra foi composta por 18 profissionais que exerciam cargos de pedreiro e servente na área construção civil. Utilizou-se para coleta de dados o questionário de avaliação de qualidade de vida no trabalho, baseado nos indicadores proposto por Walton (1973), elaborado /validado por Frossard (2009). Os dados foram digitados em planilha do programa Excel e em seguida feitas as análises estatísticas. Os resultados revelaram de uma forma geral, que apesar dos empregados estarem inseridos e trabalhando no mesmo lugar, é possível observar que as percepções dos empregados próprios sobre a QVT apresentam escores mais elevados de satisfação quando comparados com as empresas contratadas

(terceirizados). Os dois critérios com maior insatisfação foram compensação e imagem da organização, podendo estar associada a presença de empresas terceirizadas, em que os benefícios oferecidos são diferentes entre elas bem como a responsabilidade social, ambiental, e os critérios de qualidade de vida na empresa. Deste modo, podemos concluir que, a maneira em que os trabalhadores percebem o ambiente é subjetiva, não houve unanimidade dos critérios avaliados, mas o valor baixo dos escores em algumas dimensões indica que novas políticas devem ser implantadas, para que esses indicadores sejam alterados de forma positiva com relação às questões biopsicossociais dos trabalhadores.

PALAVRAS-CHAVE: Construção Civil. Qualidade de vida no trabalho. Modelo de Walton. Industria.

ABSTRACT: The present study aims to evaluate the quality of life at work (QWL) among construction workers in a large company in the Central West region. This is a research of an exploratory and descriptive nature, with a quantitative approach. The charge was made by 18 professionals of quarry loading and servants in the civil construction area. It was used to collect data from the questionnaire evaluating quality of life without work, based on the evaluation by Walton (1973), elaborated /

validated by Frossard (2009). The data was entered in Excel spreadsheet and then made as statistical analysis. The results revealed that a general form, which was nowadays inserted and not working at the same time, it is possible to observe how their own perceptions about the QVTs become better when compared with the contracted (outsourced) companies. The two criteria with greater dissatisfaction with image and organization may be associated with the presence of outsourced companies, where the benefits are differentiated between them as a social, environmental, and quality of life of a company. Thus, we can conclude that the way in which the workers perceive the environment is subjective, there was no unanimity of the evaluated criteria, but the low value of the scores in some dimensions indicates that new policies must be implemented, so that these indicators are changed from the biopsychosocial issues of workers.

KEYWORDS: Civil Construction. Quality of life at work. Walton model. Industry.

INTRODUÇÃO

O ato de trabalhar está associado ao homem desde a sua origem na Terra. A necessidade de sobrevivência fez com que homens e mulheres se juntassem em grupos, que apesar de nômades, tinham tarefas a cumprir, tais como a caça e a defesa de seus bandos. No decorrer da evolução, o trabalho foi se caracterizando ao gênero, as ferramentas e ao meio de produção. Neste sentido, Kanaane (2014, p. 15) confirma que o “trabalho sempre ocupou lugar central na vida de diferentes comunidades, onde gradativamente foi sendo limitado pelas condições socialmente estabelecidas”.

O notável momento da história se deu entre o século XVIII a XIX, durante a Revolução Industrial, no qual a produção que era manufatureira, caseira e de baixa escala, passa a ser assalariado e fundamentado no uso de máquinas, o que reflete diretamente na forma de trabalho e na vida do trabalhador. Desta forma, segundo Malthus (1946) citado por Rodrigues (1994, p. 26) “o trabalhador vivia em condições desumanas. As jornadas de trabalho chegavam a 18 horas diárias”, além de que era preciso que mulheres e crianças também se ocupassem em atividades, visto o baixo salário oferecido pelos patrões

O termo Qualidade de Vida é um objeto de várias áreas do conhecimento, com os diferentes focos de estudos. Dessa maneira, a QV não possui uma definição conceitual consensual, visto a subjetividade dos aspectos intrínsecos e extrínsecos da vida do indivíduo (LIMONGI-FRANÇA E KANIKADAN, 2006; OLIVEIRA, 2008). O que pode ser bom e prazeroso para uma pessoa, pode não ter o mesmo significado para outra.

O modelo ideal de Qualidade de Vida no Trabalho (QVT) não é de objetivo/responsabilidade exclusiva dos profissionais da área da saúde/ergonomia e segurança, pelo contrário, deve ser uma atividade intersetorial, multiprofissional

e descentralizada visando a “implantação de melhorias, inovações gerenciais, tecnológicas e estruturais dentro e fora do ambiente de trabalho” (ALBURQUERQUE E LIMONGI-FRANÇA 1998). A QVT é um modelo de participação social, de maneira sistêmica, com objetivo de recuperação, proteção e promoção da saúde, que necessita da atuação dos diversos setores que integram a empresa e seus departamentos, em suas respectivas áreas, e ao que diz respeito a vida fora da empresa, o quanto o trabalho influencia positivamente ou negativamente as relações sociais do indivíduo.

Portanto, a QVT é o equilíbrio da percepção do indivíduo, em relação ao local em que está inserido, e no qual deposita seus valores e preocupações, de maneira que exista harmonia em todos os sistemas, tais como trabalho, saúde, lazer, família, sexo e desenvolvimento espiritual (CARDOSO, 1999; FLECK, 1996).

Por conseguinte, Ferreira; Neves e Caetano (2011) argumentam que neste período emergiram diversas abordagens relacionadas à satisfação e qualidade de vida no trabalho, tais como os modelos de Lawler (1973), Bruggeman; Groskurth e Ulich (1975), Locke (1976) e Korman (1978). Fernandes (1996) cita que a ciência comportamental orienta-se pelas linhas de pesquisas dos pesquisadores Oldham e Hackman (1970), Walton (1973), Westley (1979), Guest (1979), Boisvert (1980), Bergeron (1982), Werther e Davis (1983), entre outros, em alguns países da Europa, Canadá e nos Estados Unidos.

Como ferramenta de análise e gestão da QVT, o modelo de Walton, proposto em 1973 é um dos mais utilizados. O estudo desenvolvido leva em consideração oito aspectos, em diferentes áreas, sendo possível identificar os pontos, segundo a perspectiva do trabalhador, que necessitam de atenção maior. O modelo teórico de Walton, na Tabela 01 a seguir, caracteriza os pontos destacados na pesquisa, entretanto, não limita que diagnóstico seja construído somente por estas variáveis, apenas dá subsídios, pois novas categorias ou variáveis podem ser geradas dependendo dos aspectos locais do ambiente.

Critério	Indicadores	Descrição
Compensação justa e adequada	Salário Jornada de trabalho	<ul style="list-style-type: none"> Referente também à remuneração Carga horária de trabalho
Condições de trabalho	Ambiente físico Salubridade	<ul style="list-style-type: none"> No sentido de conforto ergonômico Ausência de exposição a riscos ocupacionais
Uso e desenvolvimento das capacidades pessoais	Autonomia Estima Capacitação múltipla Informações sobre o trabalho	<ul style="list-style-type: none"> Liberdade para tomar decisões O quanto se sente querido por parte dos colegas Qualificação específica e geral para o exercício da função De que forma e em que profundidade se é informado sobre o trabalho

Oportunidade de crescimento e segurança	Carreira Desenvolvimento pessoal Estabilidade no emprego	<ul style="list-style-type: none"> • Movimento de ascensão profissional • Melhoria em <i>performance</i> • Risco de demissão
Integração social na organização	Ausência de preconceitos Habilidade social Valores Comunitários	<ul style="list-style-type: none"> • Inclusão ou exclusão na empresa • Educação e diplomacia • Valorização das tarefas pela empresa
Cidadania	Direitos garantidos Privacidade Imparcialidade	<ul style="list-style-type: none"> • Pagamentos, férias, seguros etc • Não invasão na documentação e decisões • Ausência de subjetividade e decisões objetivas
Trabalho e espaço total de vida	Liberdade de expressão Vida pessoal preservada Horários previsíveis	<ul style="list-style-type: none"> • Revelação das opiniões • Ausência de interferência na vida pessoal • Uso do tempo pessoal-profissional
Relevância social do trabalho	Imagem da empresa Responsabilidade social da empresa	<ul style="list-style-type: none"> • Credibilidade da empresa na comunidade • Preservação ambiental, geração de empregos, metaqualidade

Tabela 1 – Indicador QVT proposto por Walton (1973) Fonte: Limongi-Franca (1996, apud Adaptado de WALTON, Criteria for quality life. In: DAVIS, L.E., CHERNS, A.B. The quality of working life: problems, prospects and state of the art. New York: The Free Press, 1975: v.1, p. 43-97)

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade de vida no trabalho em empregados da construção civil de uma empresa de grande porte na região Centro Oeste do Brasil.

MÉTODO

Trata-se de uma pesquisa é de natureza exploratória e descritiva, de abordagem quantitativa. A empresa escolhida foi uma multinacional de grande porte e duas prestadoras de serviços terceirizados na região Centro Oeste, denominadas construtoras X, Y e Z.

Para tal, foi aplicado o questionário seguindo o modelo de Walton (1973) adaptado por Frossard (2009) em trabalhadores próprios e contratados da área de construção civil. O questionário é autoaplicável, sendo um instrumento composto de 28 questões fechadas, de múltipla escolha e com escalas *Likert*, discriminado em cinco categorias: não satisfeito, pouco satisfeito, indiferente, satisfeito e muito satisfeito. Os aspectos observados no questionário são divididos em oito classes e buscam analisar os indicadores da QVT, conforme ilustra o Quadro 01.

CRITÉRIO	INDICADORES DE QVT	QUESTÕES
1. Condições de trabalho	Ambiente físico seguro e saudável Recursos disponíveis para o trabalho	1 a 4
2. Organização do Trabalho	Ritmo do trabalho Execução das tarefas diárias	5 a 6
3. Integração social	Relacionamento interpessoal Relacionamento com chefia Ações que refletem na motivação	7 a 9
4. Participação	Liberdade de expressão Capacitação e qualificação Crescimento pessoal	10 a 12
5. Saúde	Integridade física, mental e social Controle de doenças	13 a 15
6. Compensação	Renda adequada ao trabalho Equidade interna Equidade externa	16 a 19
7. Comunicação	Processo de circulação das informações	20 a 23
8. Imagem da Organização	Imagem da empresa Responsabilidade social e ambiental Responsabilidade pelos produtos e serviços Qualidade de Vida na empresa	24 a 28

Quadro 01 – Indicadores de análise da QVT, proposto por Frossard (2009).

Fonte: Adaptado por Frossard (2009).

A coleta de dados foi realizada pelos próprios pesquisadores em outubro de 2015, todos os trabalhadores foram convidados a participarem da pesquisa. Aqueles que concordaram em participar do estudo receberam os questionários através da equipe de segurança de trabalho das empresas em questão, com o objetivo de não haver nenhum tipo de interferência nos dados coletados. Após coleta dos dados a equipe de pesquisa tabulou as informações utilizando o Programa Excel. Para a verificação da normalidade da amostra foi utilizado o software Minitab versão 16.

Para análise dos dados obtidos, foi escolhido o *lag* de valores, visando mensurar quantitativamente as perspectivas do trabalhador, atribuindo o valor de 01 para não satisfeito a 05 para o muito satisfeito, conforme mostra a Quadro 02.

Perspectiva	Não Satisfeito	Pouco Satisfeito	Indiferente	Satisfeito	Muito Satisfeito
Valor Atribuído	1	2	3	4	5

Quadro 02 – Valores atribuídos para as perspectivas relatadas pelos trabalhadores.

Fonte: Souza, Santos, Luis, Marques e Evangelista (2016).

Com base nos valores atribuídos, foi possível identificar a média aritmética por empresa, conforme ilustra a equação 01.

$$\text{Média Aritmética} = \frac{\sum(\text{valores atribuídos})}{\text{n}^\circ \text{de pesquisados}} \quad (1)$$

As médias foram divididas segundo os oito critérios de análise propostos por Frossard (2009), assim foi possível identificar a condição dos trabalhadores por empresa, e em seguida analisar a condição geral desses trabalhadores, segundo a metodologia da equação 01, mas compilando todo o universo amostrado os critérios propostos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Participaram do estudo, todos os funcionários totalizando 18. Todos os trabalhadores eram do sexo masculino e possuíam idades entre 20 a 60 anos, com tempo na empresa variando entre 04 meses a 30 anos.

A média, como ferramenta analítica principal do presente relatório, conceitualmente tende a agrupar uma relação de observações, não sendo capaz de identificar as peculiaridades de cada trabalhador. Mas ainda assim, é eficaz para a análise de um conjunto de trabalhadores, por exemplo. Por meio desta é obtido um valor que reflete um valor significativo dentro de um grupo numérico.

Quando a média se aproxima de 1, a perspectiva é de não satisfação com as condições, e quando se aproxima de 5 reflete em muito satisfeito. A média discriminada, pelos funcionários próprios, das empresas contratadas X e Y seguem na Figura 01. A média geral está apresentada na Figura 02.

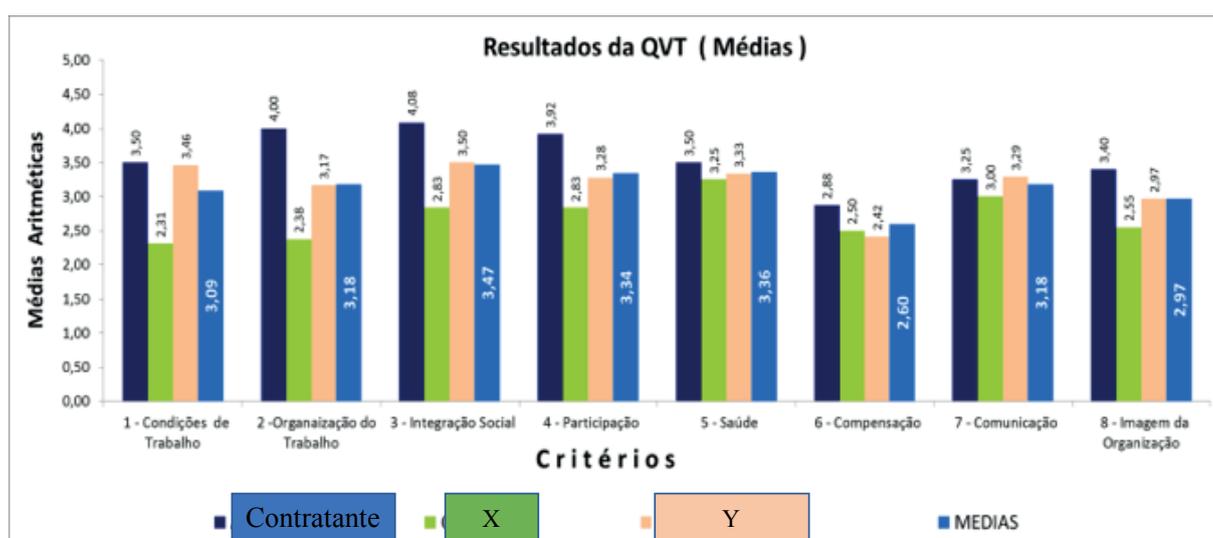


Figura 01 – Resultado da análise quantitativa da QVT por empresa

Fonte: Souza, Santos, Luis, Marques e Evangelista (2016).

Apesar dos empregados estarem inseridos e trabalhando no mesmo ambiente,

é possível observar que as percepções dos empregados da empresa contratante sobre a QVT são mais otimistas, em relação as outras duas empresas. Tal fato pode estar associado a história da empresa, que possui valores bem definidos, existem empregados há muito tempo e como eles analisam a carreira e os aspectos de crescimento. Ou apenas que estão realizando diferentes tarefas, das quais não se sentem satisfeitos, prova disso são os indicadores da X, que está no mercado há mais de uma década, possui políticas internas solidificadas já, mas tem indicadores menos otimistas entre as três empresas estudadas.



Figura 2 – Médias dos resultados da QVT obtidos nas empresas pesquisadas

Fonte: Souza, Santos, Luis, Marques e Evangelista (2016).

Como resultado geral, nenhum dos oito critérios da QVT atingiu um conceito de satisfeito ou muito satisfeito. Seis conceitos estão numericamente no intervalo que trata de indiferente, e dois conceitos estão entre o pouco satisfeito. Os três indicadores melhor avaliados, tratam da facilidade na integração social e incentivos pessoais não remunerados. Em seguida, os aspectos ligados a saúde, desde a saúde ocupacional quanto as ações de promoção, e por último a participação do colaborador quanto aos treinamentos e capacitação, liberdade de execução das tarefas e a repercussão de suas sugestões.

Os dois critérios com maior insatisfação são o de compensação financeira, que pode estar sendo consequência da presença de empresas terceirizadas, e quais os benefícios são oferecidos por uma e não para outros, dentro de um mesmo ambiente ou cargo de serviço. Em seguida, o critério de Imagem da Organização, que vê dentro a responsabilidade social, ambiental, e os critérios de qualidade de vida na empresa. A maneira em que os sujeitos enxergam o ambiente é subjetiva, não houve unanimidade dos critérios avaliados, mas o baixo resultado do conceito de QVT indica que novas políticas devem ser implantadas, para que esses indicadores sejam alterados de forma positiva com relação às questões biopsicossociais dos trabalhadores.

Sabemos que a terceirização é uma prática que as empresas encontraram para ter condições de se manterem mais competitivas, por meio da flexibilização do trabalho, conforme Magalhães, Carvalho Neto e Saraiva (2011) a terceirização serve para atender à variação crescente da demanda, otimizar recursos, reduzir custos e focalizar no negócio central das empresas. Por outro lado, promove desemprego, gera empregos informais, que conseqüentemente possuem condições de trabalho mais precários, com salários mais baixos e insegurança no emprego, reforçando o chamado precarização do trabalho – com aumento nos índices de acidentes de trabalho, perdas de direitos sociais e trabalhistas, falta de vínculo e comprometimento profissional, alta rotatividade, dentre outros aspectos negativos. (AUER; SPECKESSER, 1998).

CONCLUSÕES

O modelo desenvolvido no estudo de Walton demonstrou ser representativo dentro da análise da QVT. O modelo de Frossard, foi aplicado com sucesso, e a viabilidade desse estudo para empresas de porte semelhante é recomendado. Estudos aprofundados podem ser obtidos por meio da base de dados gerada nessa pesquisa, sendo recomendada para prováveis trabalhos.

Nos ambientes organizacionais, em que muito se solicita de modelagem e otimização de máquinas, matérias primas e ferramentas, a gestão de pessoas, por meio da averiguação da sua QVT não é analisada, mas faz-se de fundamental importância, pois o ser humano ainda é a principal fonte de criação e disseminação do conhecimento.

Em relação à Saúde dos Trabalhadores, pesquisas como esta são fundamentais para subsidiar discussões sobre as políticas públicas de saúde voltada para os trabalhadores formais e informais, para que possa ser uma ferramenta para o requerimento de medidas protetivas e de vigilância em saúde do trabalhador e no ambiente de trabalho.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste artigo agradecem a empresa de grande porte por disponibilizar agenda para as entrevistas com os funcionários e os funcionários que participaram do processo investigativo.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, L. G. de; LIMONGI-FRANÇA, A. C. **Estratégias de recursos humanos e gestão da qualidade de vida no trabalho: o stress e a expansão do conceito de qualidade total.** Revista de Administração, São Paulo, v. 33, n. 2, p. 40-51, abr./jun 1998.

AUER, P.; SPECKESSER, S. Labour markets and organizational change: future working structures for and ageing work force. **Journal of Management and Governance**, Dordrecht, v.1, n.2, p.177-2006, June 1998.

FROSSARD, M. C. **Qualidade de Vida no Serviço Público – Um Programa para a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP**. Dissertação de Mestrado em Administração Pública – Fundação Getúlio Vargas. Rio de Janeiro, 2009.

LIMONGI-FRANÇA, A. C. **Indicadores Empresariais de Qualidade de Vida no Trabalho**, 1996. Tese (Doutorado em Administração) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo – São Paulo.

LIMONGI-FRANÇA, A. C. **Qualidade de vida no trabalho – QVT. Conceitos e práticas nas empresas da sociedade pós industrial**. São Paulo: Editora Atlas S.A, 2003

JACOBS, I. S.; BEAN, C. P., **Fine particles, thin films and exchange anisotropy**, in Magnetism, vol. III, G. T. Rado and H. Suhl, Eds. New York: Academic, pp. 271–350, 1963.

MAGALHÃES, Y.T.; CARVALHO NETO, A. M.; SARAIVA, L.A. S. Práticas gerenciais relacionadas à qualificação dos trabalhadores terceirizados: um estudo de caso no setor de mineração. **Organização e Sociedade**, Salvador, v. 18, n.57, p. 227-244, abr/jun. 2011.

KANAANE, R. **Comportamento Humano nas Organizações: O Homem rumo ao século XX**. Editora. Atlas, 2014.

RODRIGUES, M. V. C. **Qualidade de vida no trabalho- Evolução e análise no nível gerencial**. Petrópolis: Vozes, 1994.

YOROZU, Y., HIRANO, M., OKA, K., TAGAWA Y., “Electron spectroscopy studies on magneto-optical media and plastic substrate interface,” IEEE Transl. J. Magn. Japan, vol. 2, pp. 740–741, August 1987 [**Digests 9th Annual Conf. Magnetism Japan**, p. 301, 1982].

YOUNG, M. **The Technical Writer’s Handbook**. Mill Valley, CA: University Science, 1989.

AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE UM SOLO RESIDUAL DE GNAISSE MADURO ESTABILIZADO COM LAMA DE CAL

Danilo Segall César

Faculdade de Ciências e Tecnologia de Viçosa.
Viçosa – Minas Gerais

Yann Freire Marques Costa

Faculdade de Ciências e Tecnologia de Viçosa.
Viçosa – Minas Gerais

Anderson Nascimento Milagres

Faculdade de Ciências e Tecnologia de Viçosa.
Viçosa – Minas Gerais

Gian Fonseca dos Santos

Faculdade de Ciências e Tecnologia de Viçosa.
Viçosa – Minas Gerais

Eduardo Souza Candido

Faculdade de Ciências e Tecnologia de Viçosa.
Viçosa – Minas Gerais

Klinger Senra Rezende

Faculdade de Ciências e Tecnologia de Viçosa.
Viçosa – Minas Gerais

Adonai Gomes Fineza

Faculdade de Ciências e Tecnologia de Viçosa.
Viçosa – Minas Gerais

RESUMO: A estabilização de solos é o procedimento que visa a melhoria e estabilidade das propriedades dos solos (resistência, deformabilidade, permeabilidade, etc). A escolha por um tipo de estabilização é influenciada pelo custo, sustentabilidade, finalidade da obra, e em particular, pelas características dos materiais e

propriedades do solo que devem ser corrigidas. A presente pesquisa experimental visou dar continuidade aos estudos recentemente iniciados na UNIVIÇOSA, onde foi avaliada a aplicação dos resíduos da indústria de papel e celulose na estabilização química de solos da região de Viçosa. Foram realizados ensaios de granulometria, limite de liquidez, limite de plasticidade e índice de plasticidade, do solo em seu estado natural e estabilizado com diferentes teores de lama de cal. O comportamento do solo se altera de acordo com o teor de lama de cal adicionado a ele, porém, na determinação do limite de plasticidade os valores pouco se alteraram na medida em que a lama de cal foi adicionada. Na determinação dos limites de liquidez, observou-se que o menor valor se deu para uma adição de 15%. Portanto, neste ponto tem o menor valor do índice de plasticidade, com isso, uma menor deformabilidade da mistura solo-lama de cal.

PALAVRAS-CHAVE: Caracterização geotécnica, celulose, melhoramento, rejeito.

ABSTRACT: Soil stabilization is the procedure that aims at the improvement and stability of soil properties (resistance, deformability, permeability, etc.). The choice for a type of stabilization is influenced by the cost, sustainability, purpose of the work, and in particular, by the characteristics of the materials

and properties of the soil that must be corrected. The present experimental research aimed to continue the studies recently started at UNIVIÇOSA, where the application of waste from the pulp and paper industry to the chemical stabilization of soils in the Viçosa region was evaluated. It was carried out tests of granulometry, liquidity limit, plasticity limit and plasticity index, of the soil in its natural state and stabilized with different levels of lime mud. The behavior of the soil changes according to the lime sludge content added to it, however, in determining the plasticity limit the values did not change much as the lime sludge was added. In determining the liquidity limits, it was observed that the lowest value occurred for an addition of 15%. Therefore, at this point has the lowest value of the plasticity index, with that, a lower deformability of the mixture soil-slime lime.

KEYWORDS: Cellulose, Geotechnical characterization, improvement, tailings.

1 | INTRODUÇÃO

No geral, todas as construções e empreendimentos são estabelecidos em cima do solo, sendo este de boa ou má qualidade, para determinado fim. Segundo Corrêa (2008), o solo, devido à sua abundância, tem grande emprego na construção civil e na engenharia rodoviária.

No campo, quando o profissional encontra um solo de má qualidade para o tipo de empreendimento a ser estabelecido, são necessários mecanismos para a melhoria deste material, melhorando os seus aspectos físicos (aumento de resistência mecânica, permeabilidade, coesão) e químicos (Correção de pH). O melhoramento e a estabilização do solo são empregados em diversas obras de engenharia, como em base e sub-bases para pavimentos, aterros, taludes e fundações (GUIMARÃES, 2002).

Classificando os solos, tem-se os solos finos, que normalmente apresentam baixo valor de ângulo de atrito, elevada deformabilidade e baixa permeabilidade. Uma das alternativas de estabilização química deste tipo de solo é a utilização da lama de cal, subproduto da indústria de papel e celulose, obtida normalmente pelo processo kraft – ciclo de recuperação química em seu processo de fabricação.

Resultados de ensaios de laboratório e de campo mostram que a inserção de determinados teores de cal em solos altera a rigidez, a resistência e o seu comportamento (GUIMARÃES, 2002). Dessa forma, fica evidente a importância do estudo das técnicas de melhoramento dos solos para obras de engenharia, proporcionando maior segurança, confiabilidade e menores custos.

Atualmente, vários estudos estão sendo realizados com o objetivo de encontrar aplicações para os rejeitos industriais, a fim de amenizar o impacto ambiental causado pelo o seu descarte e reduzindo os custos de produção, uma vez que um descarte regular demanda local e transporte adequado para sua deposição, por consequência elevando os custos do processo industrial.

Portanto, o crescente uso da lama de cal na construção civil é visto com bons olhos por alguns ambientalistas e profissionais da área, já que pode ser um material importante na estabilização de solos a fim de melhorar suas propriedades. Sendo assim, as indústrias de papel e celulose vêm incentivando pesquisas a fim do reaproveitamento de seus resíduos gerados durante o seu processo produtivo, tais como a lama de cal, dregs e grits.

Objetivou-se através do presente estudo, avaliar a variação dos limites de Atterberg em um solo fino estabilizado com diferentes teores de lama de cal. Foram objetivos específicos do trabalho a caracterização geotécnica (granulometria, limite de liquidez, limite de plasticidade e índice de plasticidade) do solo fino em seu estado natural e estabilizado com a lama de cal.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

A presente pesquisa experimental visou dar continuidade aos estudos recentemente iniciados na UNIVIÇOSA, onde foi avaliada a aplicação dos resíduos da indústria de papel e celulose na estabilização química de solos da região de Viçosa.

A pesquisa foi realizada no laboratório de Mecânica dos Solos de Engenharia Civil da UNIVIÇOSA.

Foi utilizado um solo fino localizado nas proximidades da Estação de Tratamento de Água (ETA) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), solo conhecido popularmente com “solo ETA” (Figura 1).



Figura 1 - Ponto de coleta do solo ETA.

O solo ETA foi escolhido por ser um solo muito estudado na região de Viçosa e por apresentar características importantes para avaliar as reações envolvendo a lama de cal e os argilominerais presentes no solo.

A lama de cal (Figura 2) utilizada foi cedida pela FIBRIA, uma empresa brasileira, líder mundial na produção de celulose branqueada de eucalipto.



Figura 2 - Lama de cal fornecida pela Empresa Fibria.

Os ensaios descritos a seguir foram realizados a partir da mistura solo-lama de cal em diferentes dosagens, sendo: 0%, 5%, 10%, 15%, 20% e 30% de lama de cal em relação à massa seca do ETA.

A caracterização geotécnica será composta pelos seguintes ensaios:

- Ensaio de Granulometria, segundo a metodologia descrita pela ABNT NBR 7181: 1984;
- Ensaio para Determinação dos Limites de Atterberg: Limites de Liquidez (ABNT NBR 6459: 1984) e Plasticidade (ABNT NBR 7180: 1984);

3 | RESULTADOS

3.1 Granulometria do solo

A análise granulométrica do solo apresentou-se fração argila elevada considerando-se as outras frações granulométricas, sendo classificado de acordo com o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS), como um material do tipo CH (argila inorgânica de alta compressibilidade).

Na Figura 3 tem-se a curva granulométrica do solo residual de gnaiss maduro, composto por 61% de argila, 14,5% de silte e 24,5% de areia.

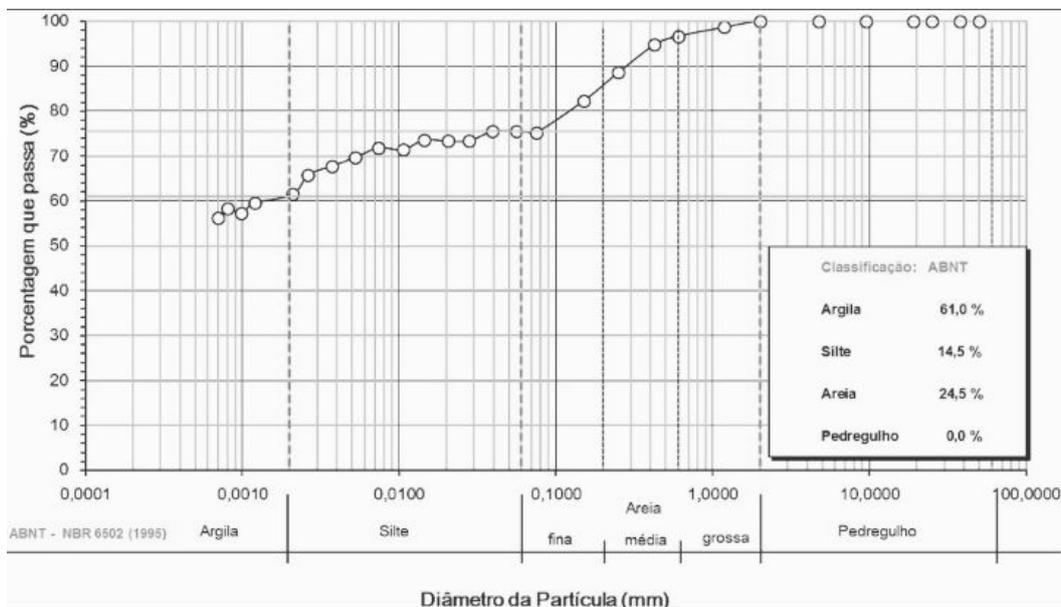


Figura 3 - Curva granulométrica do solo estudado.

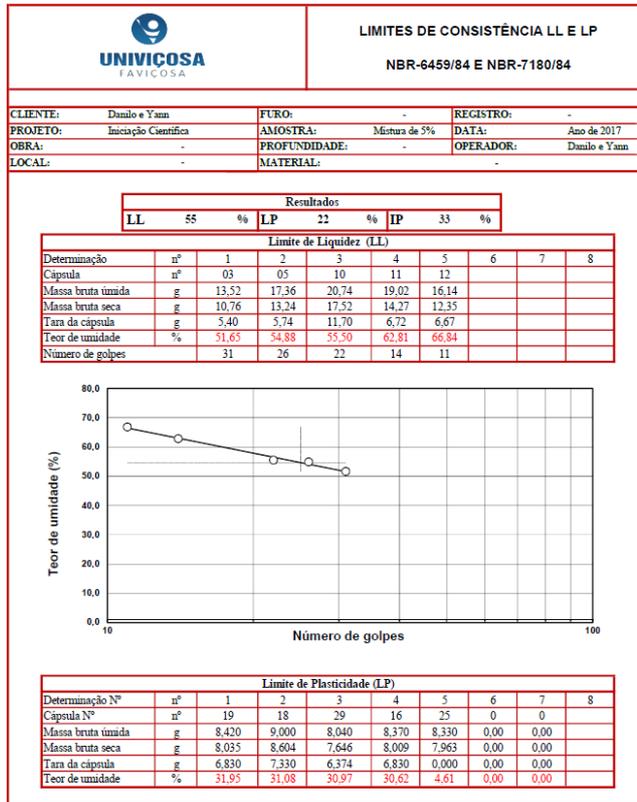
3.2 Limites de Atterberg

Com a realização dos ensaios determinados acima, foi obtido uma série de resultados distintos, referente ao teor de lama de cal presente em cada amostra analisada. Com os dados em mãos, foi confeccionado algumas tabelas para a melhor disposição e análise.

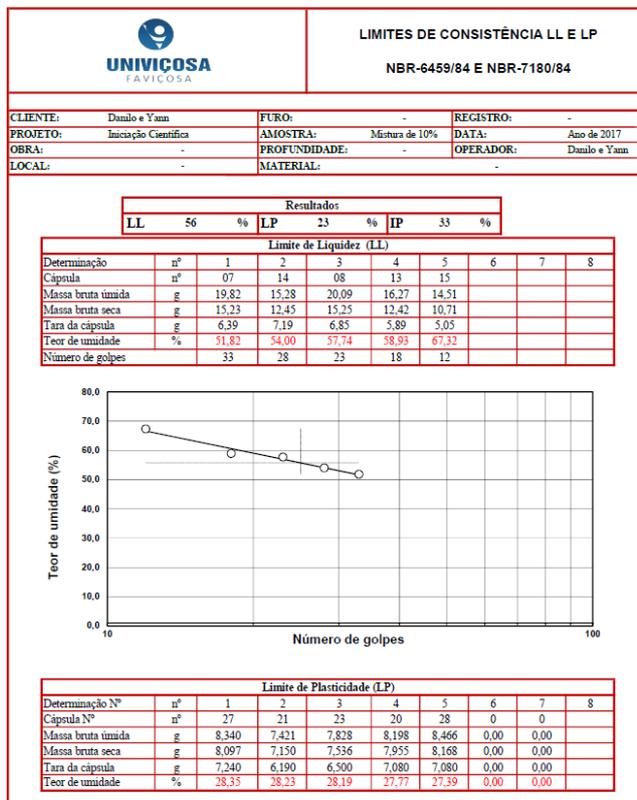
Como base nas tabelas de Limites de Atterberg (Quadro 1 a 6), e nos valores dos indicies encontrados foi possível montar gráficos referentes aos ensaios realizados.

UNIVICOSA FAVICOSA		LIMITES DE CONSISTÊNCIA LL E LP NBR-6459/84 E NBR-7180/84																																																																																
CLIENTE:	Damilo e Yann	FURO:	-																																																																															
PROJETO:	Iniciação Científica	AMOSTRA:	Solo puro																																																																															
OBRA:	-	PROFUNDIDADE:	-																																																																															
LOCAL:	-	MATERIAL:	-																																																																															
REGISTRO:		-																																																																																
DATA:		Ano de 2017																																																																																
OPERADOR:		Damilo e Yann																																																																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">Resultados</th> </tr> <tr> <th>LL</th> <th>68</th> <th>%</th> <th>LP</th> <th>27</th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IP</td> <td>41</td> <td>%</td> <td colspan="3"></td> </tr> </tbody> </table>				Resultados						LL	68	%	LP	27	%	IP	41	%																																																																
Resultados																																																																																		
LL	68	%	LP	27	%																																																																													
IP	41	%																																																																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="9">Limite de Liquidez (LL)</th> </tr> <tr> <th>Determinação</th> <th>nº</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> <th>8</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cápsula</td> <td>nº</td> <td>02</td> <td>09</td> <td>10</td> <td>13</td> <td>15</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Massa bruta úmida</td> <td>g</td> <td>16,00</td> <td>16,77</td> <td>18,95</td> <td>14,43</td> <td>15,45</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Massa bruta seca</td> <td>g</td> <td>12,04</td> <td>12,02</td> <td>16,03</td> <td>10,89</td> <td>11,03</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tara da cápsula</td> <td>g</td> <td>5,34</td> <td>4,59</td> <td>11,70</td> <td>5,89</td> <td>5,04</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Teor de umidade</td> <td>%</td> <td>59,10</td> <td>63,93</td> <td>67,44</td> <td>70,80</td> <td>73,79</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Número de golpes</td> <td></td> <td>38</td> <td>31</td> <td>27</td> <td>21</td> <td>17</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				Limite de Liquidez (LL)									Determinação	nº	1	2	3	4	5	6	7	8	Cápsula	nº	02	09	10	13	15				Massa bruta úmida	g	16,00	16,77	18,95	14,43	15,45				Massa bruta seca	g	12,04	12,02	16,03	10,89	11,03				Tara da cápsula	g	5,34	4,59	11,70	5,89	5,04				Teor de umidade	%	59,10	63,93	67,44	70,80	73,79				Número de golpes		38	31	27	21	17			
Limite de Liquidez (LL)																																																																																		
Determinação	nº	1	2	3	4	5	6	7	8																																																																									
Cápsula	nº	02	09	10	13	15																																																																												
Massa bruta úmida	g	16,00	16,77	18,95	14,43	15,45																																																																												
Massa bruta seca	g	12,04	12,02	16,03	10,89	11,03																																																																												
Tara da cápsula	g	5,34	4,59	11,70	5,89	5,04																																																																												
Teor de umidade	%	59,10	63,93	67,44	70,80	73,79																																																																												
Número de golpes		38	31	27	21	17																																																																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="9">Limite de Plasticidade (LP)</th> </tr> <tr> <th>Determinação Nº</th> <th>nº</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> <th>8</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cápsula Nº</td> <td>nº</td> <td>24</td> <td>25</td> <td>22</td> <td>20</td> <td>21</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Massa bruta úmida</td> <td>g</td> <td>8,300</td> <td>8,270</td> <td>8,340</td> <td>8,740</td> <td>7,720</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Massa bruta seca</td> <td>g</td> <td>7,860</td> <td>7,900</td> <td>7,880</td> <td>8,340</td> <td>7,370</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tara da cápsula</td> <td>g</td> <td>6,550</td> <td>6,790</td> <td>6,740</td> <td>7,070</td> <td>6,180</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Teor de umidade</td> <td>%</td> <td>33,59</td> <td>33,33</td> <td>31,58</td> <td>31,50</td> <td>29,41</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				Limite de Plasticidade (LP)									Determinação Nº	nº	1	2	3	4	5	6	7	8	Cápsula Nº	nº	24	25	22	20	21	0	0	0	Massa bruta úmida	g	8,300	8,270	8,340	8,740	7,720	0,00	0,00		Massa bruta seca	g	7,860	7,900	7,880	8,340	7,370	0,00	0,00		Tara da cápsula	g	6,550	6,790	6,740	7,070	6,180	0,00	0,00		Teor de umidade	%	33,59	33,33	31,58	31,50	29,41	0,00	0,00											
Limite de Plasticidade (LP)																																																																																		
Determinação Nº	nº	1	2	3	4	5	6	7	8																																																																									
Cápsula Nº	nº	24	25	22	20	21	0	0	0																																																																									
Massa bruta úmida	g	8,300	8,270	8,340	8,740	7,720	0,00	0,00																																																																										
Massa bruta seca	g	7,860	7,900	7,880	8,340	7,370	0,00	0,00																																																																										
Tara da cápsula	g	6,550	6,790	6,740	7,070	6,180	0,00	0,00																																																																										
Teor de umidade	%	33,59	33,33	31,58	31,50	29,41	0,00	0,00																																																																										

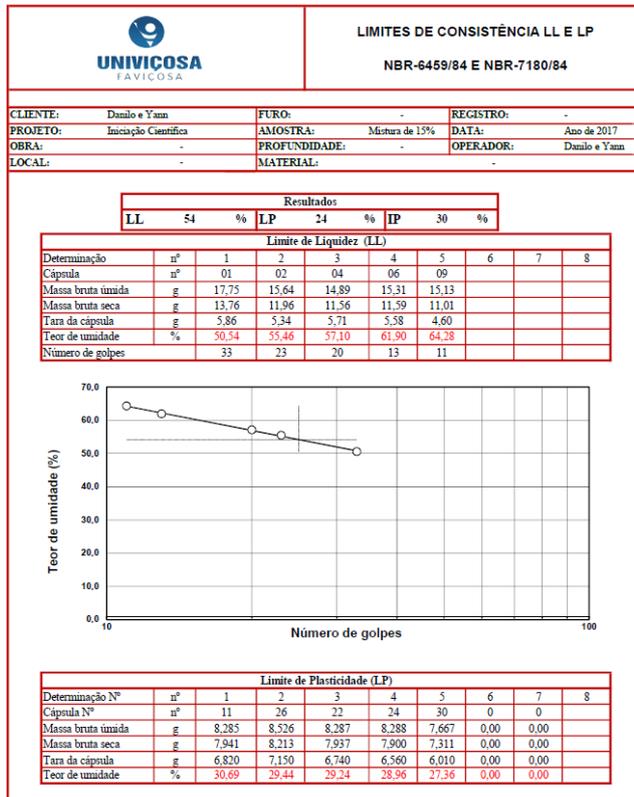
Quadro 1 - Limites de Consistência LL E LP da amostra de solo puro.



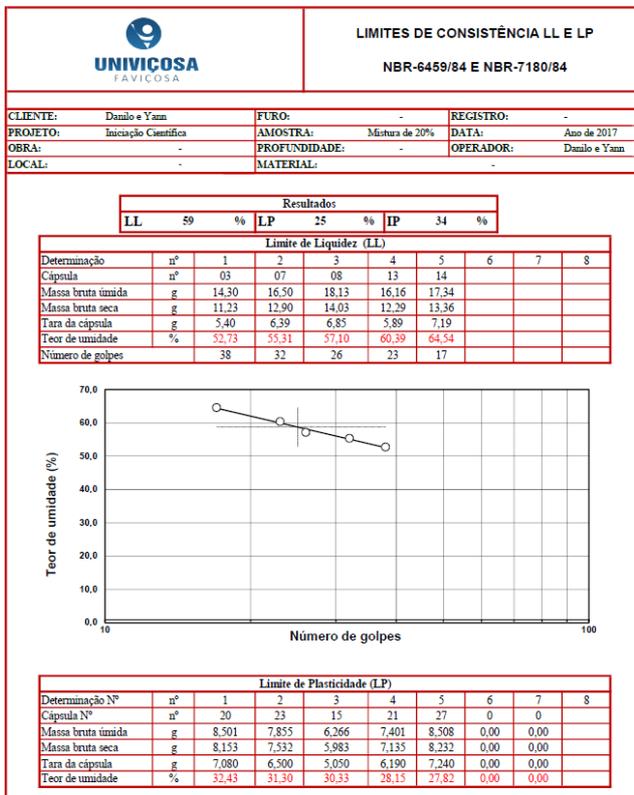
Quadro 2 - Limites de Consistência LL E LP da amostra de solo com mistura de 5% de lama de cal.



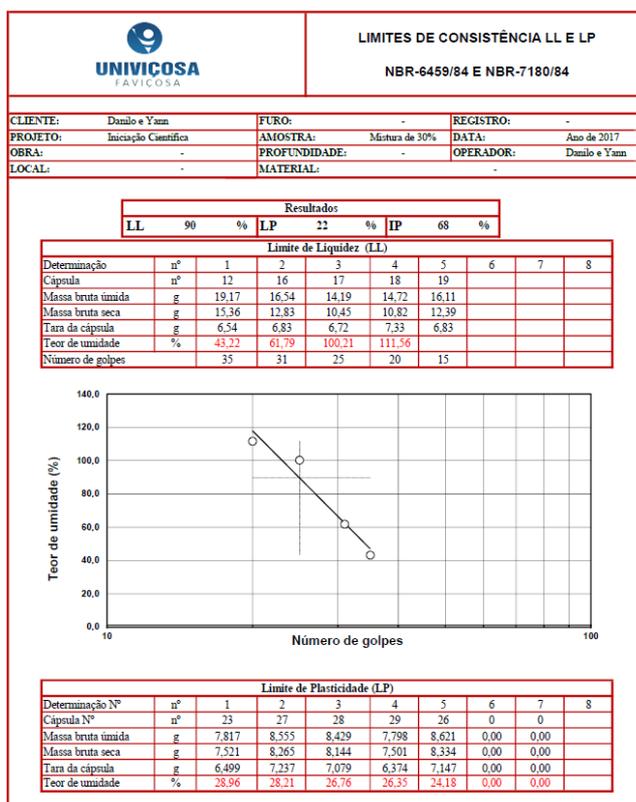
Quadro 3 - Limites de Consistência LL E LP da amostra de solo com mistura de 10% de lama de cal.



Quadro 4 - Limites de Consistência LL E LP da amostra de solo com mistura de 15% de lama de cal.



Quadro 5 - Limites de Consistência LL E LP da amostra de solo com mistura de 20% de lama de cal.



Quadro 6 - Limites de Consistência LL E LP da amostra de solo com mistura de 30% de lama de cal.

3.3 Limite de liquidez

A Gráfico 1 apresenta a curva dos limites de liquidez para as diferentes porcentagens de lama de cal na amostra de solo. Analisando estes valores, observou-se que a adição do resíduo, assim como a adição ou a elevação do teor de cal, conduzem a uma diminuição do limite de liquidez, até certo ponto.

Como pode-se observar na curva, com a adição de teores do rejeito, o solo passa a apresentar um menor teor de umidade, no entanto, a partir de uma certa quantidade de lama de cal, isso já não mais ocorre; pois passa a predominar apenas o comportamento da lama de cal e não mais da mistura.

O teor ideal de lama de cal foi estimado como sendo o ponto mais baixo da curva do Gráfico 1, sendo a mistura de solo com a lama de cal de 15% mais aproxima do menor teor de umidade.

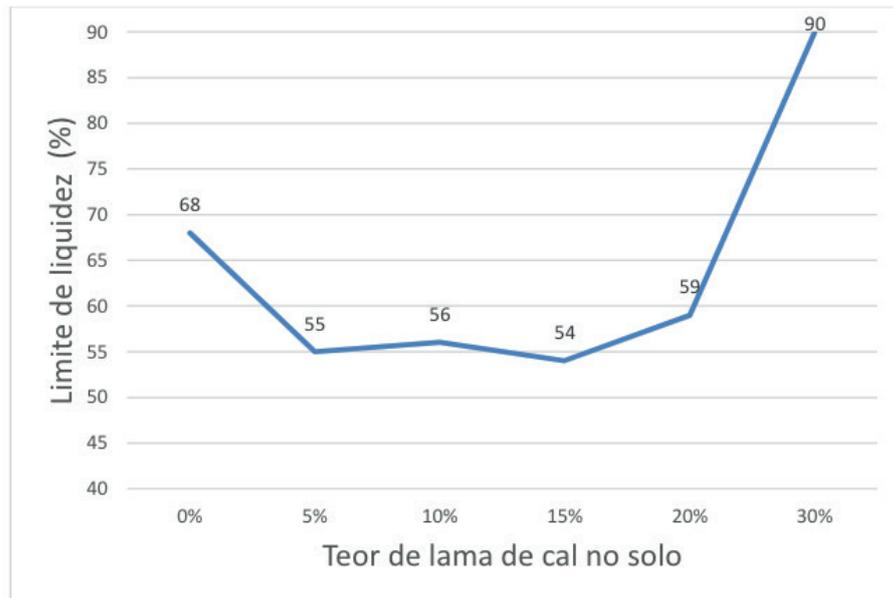


Gráfico 1: Limite de Liquidez

3.4 Limite de plasticidade

Pode-se observar no Gráfico 2, que a adição de teor de rejeito, o solo passa a apresentar uma pequena diminuição na porcentagem do limite de plasticidade não tendo variações grande na sua porcentagem a medida que o teor de lama de cal aumenta na mistura da amostra.

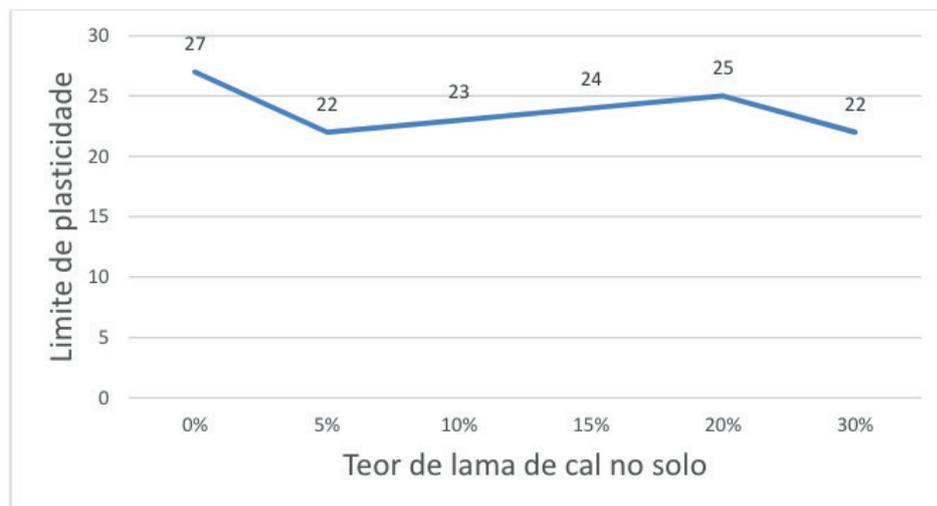


Gráfico 2: Limite de Plasticidade

3.5 Índice de plasticidade

Como o índice de plasticidade é resultado da subtração entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade, e mesmo com os diferentes teores de lama de cal nas misturas das amostras de solo, o limite de plasticidade não mostrou nenhuma grande variação com isso o índice de plasticidade ficou em função do limite de liquidez.

Sendo assim os índices de plasticidades observados resultaram em uma curva, com a adição dos teores do rejeito, o solo passou a apresentar um menor índice, no entanto, a partir da mistura de 15% de lama de cal no solo o índice não diminui mais e a partir desta porcentagem voltou a aumentar (Gráfico 3).

Entretanto mesmo com a diminuição do índice de plasticidade quando acrescentado uma porcentagem entorno de 15% de lama de cal ao solo, a característica da amostra se mantém sendo um solo muito plástico.

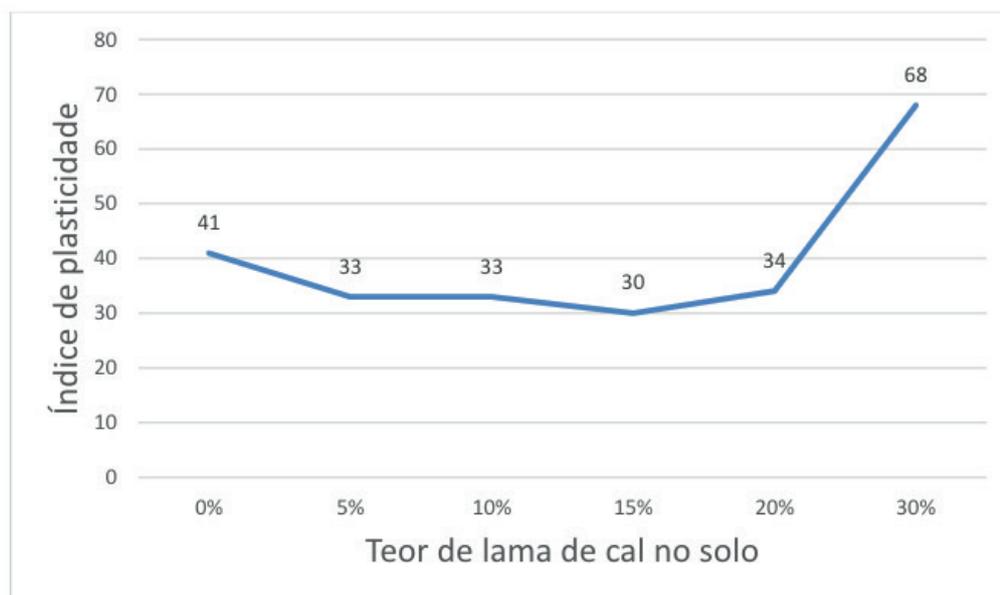


Gráfico 3: Índice de Plasticidade

4 | CONCLUSÕES

Algumas conclusões foram obtidas a partir dos resultados alcançados nos ensaios realizados com amostras do solo natural e com diferentes porcentagens de lama de cal acrescentadas.

Pode-se observar que o comportamento do solo altera de acordo com o teor de lama de cal adicionado a ele. Isso torna-se evidente ao observar os resultados dos ensaios de limite de liquidez e de limite de plasticidade. Contudo, o solo passa a ter um comportamento contrário a partir da porcentagem ótima de mistura de lama de cal, sendo assim, as propriedades predominantes da mistura passam a ser basicamente da lama de cal.

Na determinação do limite de plasticidade observa-se que os valores pouco se alteraram na medida em que a lama de cal foi adicionada, no entanto, nos ensaios para determinar os limites de liquidez, observou-se que o menor valor se deu para uma adição de 15%. Portanto, neste ponto se tem o menor valor do índice de plasticidade. Indicando assim, que para o teor de 15% tem-se uma menor deformabilidade da mistura solo-lama de cal.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6459: Solo – Determinação do limite de liquidez.** Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6508: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica.** Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7180: Solo – Determinação do limite de plasticidade.** Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7181: Análise Granulométrica de Solos.** Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10004: Resíduos sólidos. Classificação. Fórum Nacional de Normalização.** Rio de Janeiro, 2004.

CORRÊA, J. F. **Avaliação das melhorias das propriedades físicas e mecânicas de solos originados de rochas sedimentares pela adição de cal para fins de pavimentação.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

GUIMARÃES, J. E. P. **A Cal – Fundamentos e Aplicações na Engenharia Civil.** 2. Ed. São Paulo: Pini, 2002.

AVALIAÇÃO TOXICOLÓGICA DE RESÍDUOS ELETRÔNICOS: ESTUDO DE CASO COM PILHAS ALCALINAS

Pedro Luiz Dias Barroso

Universidade do Porto
Instituto Federal Catarinense – Campus
Camboriú*
Porto – Portugal

Julia Santos Caetano

Universidade Federal do Paraná
Instituto Federal Catarinense – Campus
Camboriú*
Curitiba – Paraná

Jean Pierre Sayago

Instituto Federal Catarinense – Campus
Camboriú*
Camboriú – Santa Catarina

Joeci Ricardo Godoi

Instituto Federal Catarinense – Campus Camboriú
Camboriú – Santa Catarina

Rodrigo Souza Banegas

Instituto Federal Catarinense – Campus Camboriú
Camboriú – Santa Catarina

Letícia Flohr

Instituto Federal Catarinense – Campus Camboriú
Camboriú – Santa Catarina

*No período de execução do trabalho descrito

RESUMO: Resíduos sólidos eletrônicos são um grave problema para o ambiente pois são constituídos de diversas substâncias tóxicas. Pilhas alcalinas são exemplos destes resíduos que comumente são utilizados

em residências e descartados como lixo comum. Isto pode contaminar o solo e corpos d'água, vindo a trazer consequências para organismos que vivem nestes locais e também para o ser humano. Testes físico-químicos e toxicológicos utilizados em conjunto podem trazer informações importantes sobre os efeitos em seres vivos e sobre a periculosidade destas contaminações. Assim, o presente trabalho teve o objetivo de avaliar efeitos tóxicos provocados pelo descarte inadequado de pilhas. Foram realizados testes fitotóxicos (germinação de sementes, crescimento de raízes, avaliação de pigmentos fotossintéticos) e testes físico-químicos (pH e condutividade elétrica) para avaliação de lixiviados de pilhas alcalinas expostas à água da chuva. Os resultados observados possibilitaram a avaliação do potencial tóxico de pilhas de uso doméstico que são descartadas inadequadamente, e isso pode contribuir na tomada de decisões sobre a prevenção de possíveis danos e evita gastos futuros nas áreas da saúde e do ambiente.

PALAVRAS-CHAVE: Pilhas alcalinas. Testes físico-químicos. Clorofila total. Germinação. Raízes.

TOXICOLOGICAL EVALUATION OF
ELECTRONIC WASTE: CASE STUDY WITH

ABSTRACT: Electronic solid wastes are a serious problem for the environment as they are made up of various toxic substances. Alkaline batteries are examples of these wastes that are commonly used in homes and disposed of as household waste. This can contaminate the soil and water, bringing consequences to organisms and humans. Physico-chemical and toxicological tests used together can bring important information about the effects on living beings and the dangerous of these contamination. Thus, the present work had the objective of evaluating toxic effects caused by the inappropriate disposal of batteries. Phytotoxic tests (seed germination, root growth, total chlorophyll) and physico-chemical tests (pH and electrical conductivity) were carried out to evaluate the leachate from alkaline batteries exposed to rainfall. The results enabled the evaluation of the toxic potential of domestic batteries that are improperly disposed of, and this can contribute to the decision making on the prevention of possible damages. Additionally avoids future expenditures in the areas of health and the environment.

KEYWORDS: Alkaline batteries. Physico-chemical tests. Total chlorophyll. Germination. Roots.

1 | INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas a indústria de eletroeletrônicos vem crescendo no Brasil e no mundo e, somado a este crescimento, existe a grande geração de resíduos sólidos eletrônicos. Os resíduos sólidos eletrônicos, também chamados de “lixos eletrônicos” configuram um grave problema para o ambiente, desde sua produção até o seu descarte, pois são constituídos por materiais que possuem metais pesados altamente tóxicos, como o mercúrio, cádmio, berílio e o chumbo (MOI, *et al.*, 2012). De acordo com Pallone (2008), esses e outros componentes trazem vários problemas ao nosso sistema biológico, tais como problemas neurológicos, gastrointestinais, pulmonares, alterações genéticas, formação de agentes cancerígenos, etc.

Considera-se a presença de substâncias tóxicas na composição dos resíduos eletrônicos, o que justifica a sua classificação como resíduo perigoso, que segundo a NBR 10.004/04 (ABNT, 2004) são resíduos que apresentam inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, ou seja, são aqueles que apresentam risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices ou riscos ao meio ambiente, quando gerenciados de forma inadequada.

Dados da Organização das Nações Unidas (ONU, 2014) estimam que a geração mundial de lixo eletrônico é de 40 milhões de toneladas ao ano. Ainda relacionado aos dados alarmantes da ONU (2016), apenas em 2014, o Brasil produziu cerca de 1,4 milhão de toneladas de lixo eletrônico, e segundo o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, o Brasil é o país com maior geração de resíduos eletrônicos dentre os em desenvolvimento (PNUMA, 2010). Mesmo com todo o seu

caráter poluidor e danoso ao ambiente, tais resíduos não são, em sua totalidade, tratados e adequadamente dispostos.

Os resíduos eletrônicos possuem amparo na lei 12.305/2010, a Política Nacional de Resíduos Sólidos, que estabelece parâmetros e procedimentos, tais como classificação dos resíduos, disposição, responsabilidade, e logística reversa, que devem ser adotados no ciclo de vida dos equipamentos eletrônicos para reduzir o seu caráter poluidor. De acordo com Leite *et al.* (2009), o reaproveitamento de produtos não é uma novidade nos dias atuais; reciclagem, reúso, desmanche e remanufatura no retorno de papéis, metais, plásticos, mesmo os eletrônicos e eletrodomésticos, são processos já realizados. Os resíduos eletrônicos obsoletos, ou sem uso, quando encaminhados a empresas responsáveis, passam pelo processo de logística reversa. Segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, 2010), considera-se logística reversa:

instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada.

Apesar de todo aparato legal e alternativas para tratamento e destinação final de resíduos eletrônicos, a maioria das cidades brasileiras não possui uma adequada gestão destes resíduos. Segundo dados divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (BRASIL, 2010), por meio da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – PNSB de 2008, 99,96% dos municípios brasileiros têm serviços de manejo de Resíduos Sólidos, mas 50,75% deles dispõem seus resíduos em vazadouros; 22,54% em aterros controlados; 27,68% em aterros sanitários.

Dentre os resíduos eletrônicos mais encontrados em nossas residências estão as pilhas e baterias, que ainda são descartadas como lixo doméstico comum (Reidler e Guenther, 2003). As pilhas mais comumente utilizadas são as alcalinas, que apesar de serem fabricadas dentro dos padrões de Pb, Cd e Hg estabelecidos pela Resolução 401/2008 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), podem conter quantidades apreciáveis de Zn e Mn, metais pesados que não são contemplados pela legislação vigente (Câmara *et al.*, 2012).

Sabendo-se que estes resíduos são encaminhados para vazadouros, lixões, ou acabam sendo queimados ou lançados diretamente no solo e em rios, deve-se tomar cuidado com as interações destes materiais com o meio ambiente, pois isto facilita a liberação de conteúdo tóxico. Conforme Reidler e Guenther (2003), as substâncias tóxicas que compõem as pilhas e baterias, podem atingir e contaminar os aquíferos e chegar ao organismo humano através da ingestão (água ou alimentos contaminados), da inalação ou contato dérmico.

Apesar de existirem diversos estudos que analisam individualmente as substâncias químicas presentes em lixiviados de pilhas (Câmara *et al.*, 2012;

Agourakis et al., 2006), efeitos tóxicos não podem ser previstos apenas por análises físico-químicas. Toxicidade é a capacidade que uma substância tem de causar danos a um sistema biológico. Entretanto, não é apenas a presença de um composto que produz um efeito tóxico, mas as relações entre a dose à que o organismo está exposto e seus efeitos biológicos, que determinam qual concentração pode causar danos (Landis e Yu, 2003). A toxicologia ambiental estuda as interações tóxicas de substâncias químicas no ecossistema e sua capacidade de afetar a fisiologia normal de organismos vivos. Assim, risco ambiental pode ser definido como a probabilidade medida ou estimada de dano, doença ou morte causada por um agente químico em um indivíduo a este exposto (Caldas, 1999).

Dentre os vários tipos de testes toxicológicos disponíveis, os testes de germinação de sementes e de crescimento de raízes são amplamente utilizados, rápidos e precisos, demonstrando sensibilidade, simplicidade, baixo custo e por serem adequados para amostras ou substâncias químicas instáveis (Wang et al., 2001). Os pigmentos fotossintéticos (clorofilas e carotenóides) também são indicadores de fitotoxicidade muito utilizados para avaliar efeitos de substâncias tóxicas (Dewez et al, 2005; Radic et al., 2010). Um decréscimo na quantidade destes pigmentos, causados por substâncias tóxicas, pode inibir a fotossíntese de plantas (Maleva et al., 2009).

Considerando-se que os lixiviados de pilhas de uso doméstico apresentam riscos potenciais ao meio ambiente, o presente trabalho tem o objetivo de avaliar efeitos tóxicos provocados pelo descarte inadequado de pilhas. Levando-se em conta que uma avaliação sobre os efeitos é mais completa utilizando-se testes toxicológicos combinados com testes físico-químicos, foram realizados testes fitotóxicos (germinação de sementes, crescimento de raízes, avaliação de clorofila total) e testes físico-químicos (pH e condutividade elétrica).

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O procedimento de lixiviação das pilhas foi realizado conforme Câmara et al. (2012). As pilhas utilizadas foram previamente descarregadas e colocadas em frascos com 150 mL com água da chuva. A lixiviação foi estática e amostras foram retiradas no 1o, 7o, e 30o dias. Os testes foram realizados em duplicata. A água da chuva foi coletada no Instituto Federal Catarinense (IFC) - Campus Camboriú.

Os testes físico-químicos de pH e condutividade elétrica foram realizados no meio lixiviante (água da chuva) no início do experimento (dia 0), e nos 1o, 7o, e 30o dias. As análises foram realizadas utilizando-se fita universal indicadora de pH (Phox) e condutímetro digital (AJmicronal AJX-515).

Os testes de fitotoxicidade foram realizados com as amostras extraídas do meio lixiviante água da chuva. Foram observados: germinação de sementes,

crescimento de raízes e concentração de clorofila total em *Eruca sativa* (rúcula). Diferentes diluições do lixiviado foram testadas (100%, 50%, 25%, 12,5% e 6,25%). Para o teste de germinação, foi utilizada a metodologia de Brito-Pelegrini et al. (2007). As sementes foram expostas aos lixiviados por 7 dias, à temperatura e iluminação ambiente. Após esse período, contabilizou-se o número de sementes germinadas e foi realizada a medição das raízes. A análise de clorofila total foi realizada nas plantas, extraíndo-se a raiz. Aproximadamente 100 mg de plantas frescas foram maceradas em 5 mL de metanol 100% durante 5 minutos. O homogenado foi filtrado e a absorbância dos sobrenadantes foi medida em 653 e 666nm (*Espectrofotômetro UV VIS Metrolab 330*). A concentração de clorofila total foi determinada de acordo com as equações experimentais descritas por Lichtenthaler (Lichtenthaler, 1987).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análises físico-químicas

Nos resultados encontrados na Tabela 1, nota-se uma alteração gradual, do pH e da condutividade elétrica, em relação ao tempo de exposição das pilhas alcalinas ao meio lixiviante. Nas pilhas expostas à água da chuva, o pH tornou-se levemente mais ácido após a primeira semana, como esperado, após o trigésimo dia de exposição, o potencial hidrogeniônico tornou-se predominantemente básico, já que as pilhas eram alcalinas. Relacionando os dados obtidos neste trabalho com os observados por Câmara et al. (2012), nota-se que nas amostras extraídas no primeiro e no sétimo dia, os pHs foram similares (em torno de 6,0), porém, após 30 dias, os autores não observaram aumento de pH em relação ao primeiro e sétimo dias de exposição.

Parâmetros físico-químicos	Tempo (dias)			
	0*	1	7	30
pH	5,6 ± 0,5	6,0 ± 0	5,5 ± 0,7	9,0 ± 4,2
Condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	1,7 ± 0,2	1,5**	1,6 ± 0,3	2,7 ± 3,1

Tabela 1. Valores médios de pH e condutividade elétrica dos lixiviados de pilhas expostas a água da chuva.

*lixiviante *in natura*

**valor referente ao resultado da segunda repetição.

Fonte: Arquivo próprio.

Em relação a condutividade elétrica do lixiviado de pilhas expostas a água da chuva houve queda do valor após o 1 dia e um leve aumento após 7 dias. No final de 30 dias de exposição a condutividade do lixiviado aumentou em torno de 59%. De acordo com Câmara *et al.* (2012), esse fato sugere que a água da chuva, durante o período dos ensaios, foi agressiva a ponto de provocar vazamento significativo de componentes internos, assim o pH do lixiviado da pilha alcalina seria básico devido à base forte (KOH) presente em sua pasta eletrolítica.

3.2 Testes de fitotoxicidade

Os dados da Figura 1 correspondem aos resultados do teste de germinação de sementes, e da Figura 2 correspondem ao crescimento de raízes de *Eruca Sativa* expostas aos lixiviados de pilhas alcalinas. Após a análise dos dados, foi possível observar que, de forma geral, as sementes expostas a diferentes diluições de amostras germinaram menos que o controle. O mesmo pode ser observado em relação ao tamanho de raízes destas plantas.

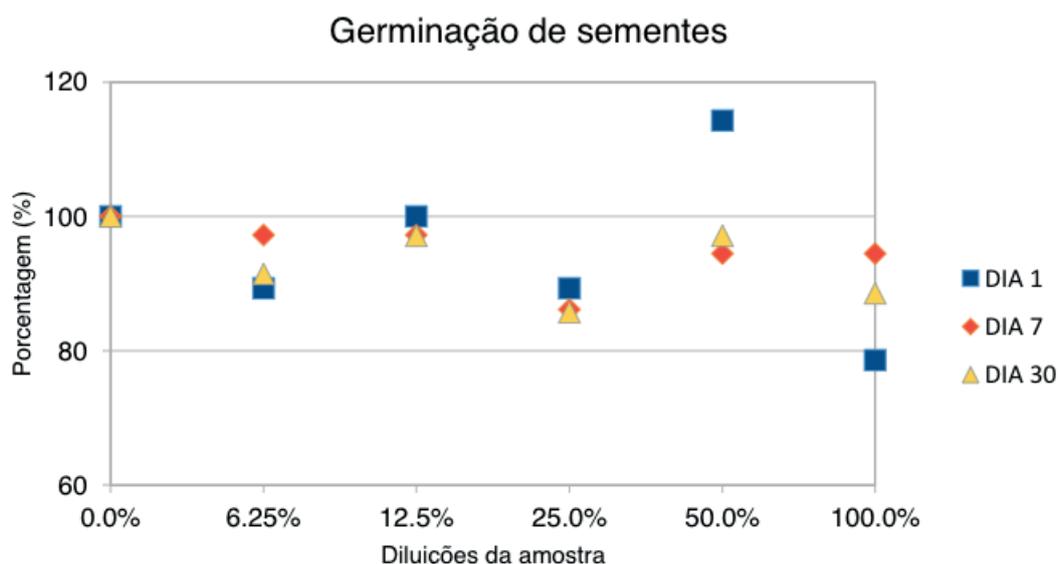


Figura 1. Germinação de sementes de *E. sativa* expostas a lixiviados de pilhas alcalinas (% em relação ao controle).

Fonte: Arquivo próprio.

Possivelmente estes resultados se devem a absorção de metais pesados pelas plantas. Segundo Zurera *et al.* (1987), plantas folhosas tendem a ter maior absorção de metais tóxicos. Mesmo que pilhas alcalinas estejam em conformidade com os teores-limite de Hg, Cd e Pb estabelecidos pela Resolução 401/2008, elas ainda contêm quantidades significativas de outros metais pesados (particularmente Fe, Mn e Zn), não contempladas pela legislação. Câmara *et al.* (2012) observou a liberação de Fe, Mn e Zn em pilhas alcalinas expostas a água de chuva, e quantificaram percentuais de 97,5%, 71,5% e 58,2% destes elementos respectivamente, liberados

das pilhas alcalinas após um período de 30 dias.

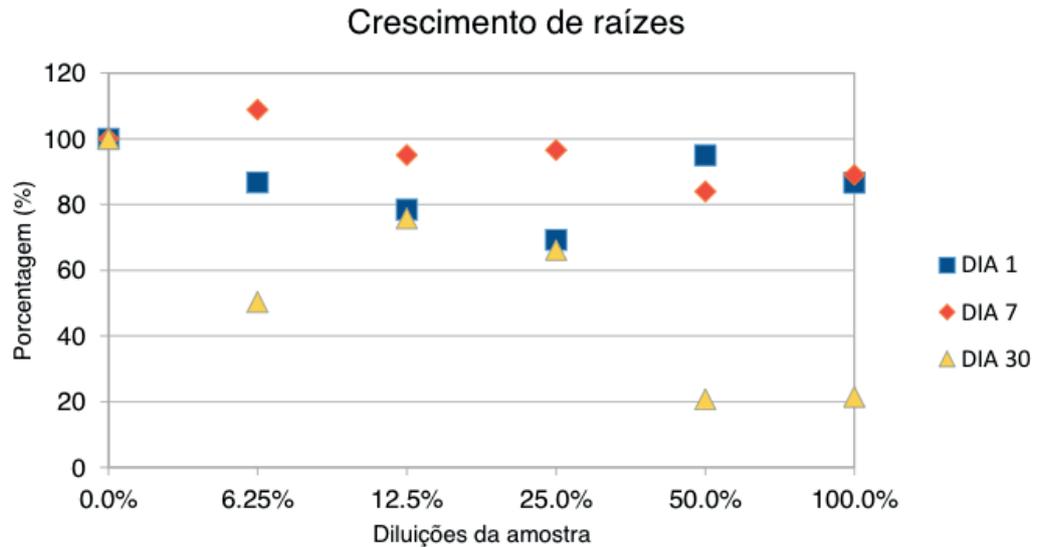


Figura 2. Crescimento de raízes de *E. sativa* expostas a lixiviados de pilhas alcalinas (% em relação ao controle).

Fonte: Arquivo próprio.

Em relação aos valores de clorofila total, os resultados indicaram que de forma geral houve diminuição nas quantidades, quando comparadas ao controle negativo (Figura 3).

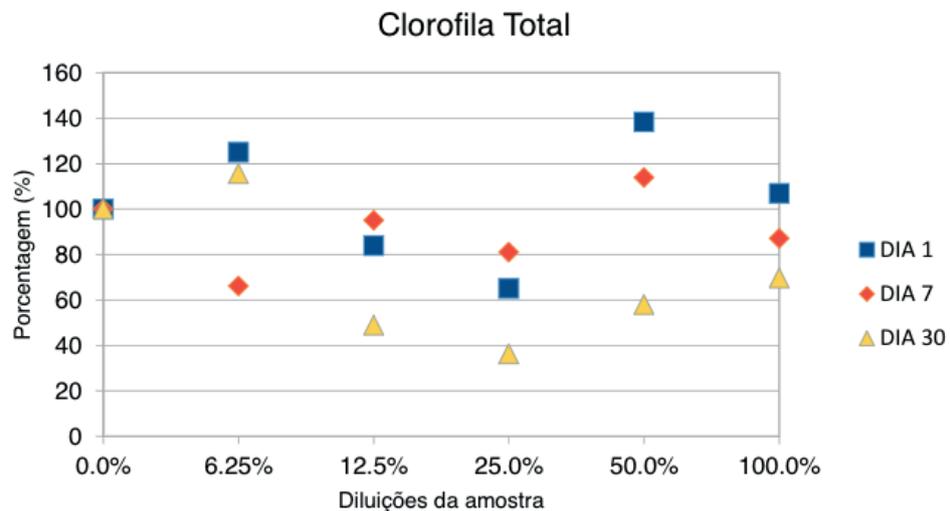


Figura 3: Clorofila total em *E. sativa* expostas a lixiviados de pilhas alcalinas (% em relação ao controle).

Fonte: Arquivo próprio.

Pilhas alcalinas contém diversos elementos tóxicos, entre eles chumbo, cádmio e mercúrio. John et al. (2008) observaram diminuição de clorofila total em macrófitas *Lemna polirryza* expostas a altas concentrações de chumbo e cádmio (10-40 ppm), entretanto, em pequenas concentrações de Pb e Cd (1 ppm), houve aumento na

quantidade de clorofila total. Neste trabalho nota-se que nas sementes expostas ao lixiviado de 1 e 30 dias na concentração de 6,25%, ao lixiviado de 1 e 7 dias na concentração de 50%, e de 1 dia na concentração 100% houve um aumento na quantidade de clorofila total em relação ao controle negativo. Este aumento na quantidade de clorofila total pode ser explicado também pela presença de zinco e manganês em pilhas alcalinas. De acordo com Raven (1999), apesar de ser tóxico em altas concentrações, o zinco é um micronutriente essencial para a atividade de diversas enzimas e faz parte de moléculas que atuam em papéis chave no transporte de elétrons fotossintéticos. Doganlar et al. (2012) afirmam que o manganês é um microelemento importante e está presente na constituição de enzimas e cofatores, mas é tóxico em concentrações excessivas.

4 | CONCLUSÕES

Através desta pesquisa foi possível observar o potencial tóxico de pilhas de uso doméstico que são descartadas inadequadamente. Estes resultados evidenciam a problemática dos resíduos sólidos eletrônicos no meio ambiente, e podem auxiliar na conscientização das pessoas sobre o seu descarte correto. Ainda, estas informações poderão ser utilizadas como ferramenta para tomada de decisões quanto ao impacto ambiental causado por este tipo de resíduo.

5 | AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem ao Instituto Federal Catarinense – Campus Camboriú pelo financiamento deste projeto em termos de custos e bolsa de iniciação científica, Edital 056/GDG/IFC-CAM/2016.

REFERÊNCIAS

AGOURAKIS, D.C., CAMARGO, I.M.C., COTRIM, M.B., FLUES, M. 2006. **Comportamento de zinco e manganês de pilhas alcalinas em uma coluna de solo**. Quim. Nova, Vol. 29, No. 5, 960-964.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2004. **NBR 10.004: Resíduos Sólidos – Classificação**. ABNT, Rio de Janeiro; 2004.

BRASIL. 2010. IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico: 2008**. Rio de Janeiro. Disponível em: < http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf >. Acesso em 10 outubro 2016.

BRITO-PELEGRINI, N.N., PATERNIANI, J.E.S., BROTA, G.A., DOS SANTOS, E.M., SILVA, N.B.. 2007. **Ensaio biológicos com sementes para avaliar a redução da toxicidade do chorume tratado por processo fotoquímico**. Minerva, v. 6, n. 3, p. 219-228.

CALDAS, L.Q.A. **Risco Potencial em Toxicologia Ambiental**. In: BRILHANTE O. M., CALDAS L. Q. A. Gestão e Avaliação de Risco em Saúde Ambiental. Rio de Janeiro: FIOCRUZ, 1999.

- CÂMARA, S.C.; AFONSO, J.C.; SILVA, L.I.D.; DOMINGUES, N.N.; ALCOVER NETO, A. 2012. **Simulação do intemperismo natural de pilhas zinco-carbono e alcalinas**. Quim. Nova, v. 35, n. 1, p. 82-90.
- DEWEZ, D., GEOFFROY, L.; VERNET, G.; POPOVIC, R. 2005. **Determination of photosynthetic and enzymatic biomarkers sensitivity used to evaluate toxic effects of copper and fludioxonil in alga *Scenedesmus obliquus***. Aquatic Toxicology, v.74, p.150–159.
- DOGANLAR, Z.B.; CAKMAK, S.; YANIK, T. 2012. Metal uptake and physiological changes in *Lemna gibba* exposed to manganese and nickel. International Journal of Biology, v. 4, n.3, p 148-157.**
- JOHN, R., AHMAD, P., GADGIL, K., SHARMA, S. 2008. **Effect of cadmium and lead on growth, biochemical parameters and uptake in *Lemna polyrrhiza* L.** Plant Soil Environ., v. 54, n.6, p. 262–270.
- LANDIS, W.G., YU, M-H. **Introduction to environmental toxicology: impacts of chemicals upon ecological systems**. 3. ed. Lewis Publishers, 2003. 487p.
- LEITE, Paulo Roberto; LAVEZ, Natalie; SOUZA, Vivian Mansano de. 2009. **Fatores da logística reversa que influem no reaproveitamento do “lixo eletrônico” – um estudo no setor de informática**. In: SIMPOI 2009, 1., 2009, São Paulo. **Anais...** . [s.i.]: Simpoi, p. 1 – 16.
- LICHTENTHALER, H.K., 1987. **Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes**. Meth. Enzymol., v.148, p. 350– 383.
- MALEVA, M.G.; NEKRASOVA, G.F.; MALEC, P.; STRZALKA, K. 2009. **Ecophysiological tolerance of *Elodea canadensis* to nickel exposure**. Chemosphere, v. 77, n. 3, p. 392–398.
- MOI, Paula Cristina Pedroso et al. 2012. **Lixo eletrônico: consequências e possíveis soluções**. Mato Grosso: Connectionline, 2012. 9 p.
- OLIVEIRA, Sebastião Sidnei Vasco de. **Sustentabilidade na universidade estadual centro-oeste – Unicentro: um estudo de caso sobre o projeto “gerenciamento do lixo eletrônico: uma solução tecnológica e social para um problema ambiental”**. 2014. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Gestão de Políticas Públicas, Univali, Itajaí, 2014.
- ONU. **Brasil produziu 1,4 milhão de toneladas de resíduos eletrônicos em 2014, afirma novo relatório da ONU. 2014**. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/brasil-produziu-14-milhao-de-toneladas-de-residuos-eletronicos-em-2014-afirma-novo-relatorio-da-onu/>>. Acesso em: 12 jul. 2016.
- PALLONE S. 2008. **Resíduo eletrônico: redução, reutilização, reciclagem e recuperação**. Disponível em: http://www.oei.es/historico/divulgacioncientifica/reportajes_037.htm Acesso em: 12 jul. 2016.
- PNRS. **Lei Nº 12.305 (Política Nacional dos Resíduos Sólidos), de 2 de Agosto de 2010**. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA CASA CIVIL. Brasília, DF, 03 ago. 2010.
- PNUMA. **Substâncias Nocivas e Resíduos**. 2010. Disponível em: <<http://web.unep.org/regions/brazil/other/substancias-nocivas-e-residuos>>. Acesso em: 30 ago. 2016.
- RADIC, S.; BABIC, M.; SKOBIC, D.; ROJEC, V.; PEVALEK-KOZLINA, B. 2010. **Ecotoxicological effects of aluminum and zinc on growth and antioxidants in *Lemna minor* L.** Ecotoxicology and Environmental Safety, v. 73, p. 336–342.
- RAVEN, J. A., EVANS, M. C. W. & KORB, R. E. 1999. The role of trace metals in photosynthetic electron transport in O₂-evolving organisms. Photosynth. Res., v.60, p.111–149.

REIDLER, N. M. V. L.; GÜNTHER, W. M. R. 2003. **Impactos ambientais e sanitários causados por descarte inadequado de pilhas e baterias usadas.** *Revista Limpeza Pública*, São Paulo, v. 60, p. 20-26.

WANG, X., SUN, C., GAO, S., WANG, L. and SHUOKUI, H., 2001. **Validation of germination rate and root elongation as indicator to assess phytotoxicity with *Cucumis sativus*.** *Chemosphere*, v. 44, n. 8, p. 1711-1721.

ZURERA, G. et al. 1987. Lead and cadmium contamination levels in edible vegetables. *Environmental Contamination and Toxicology*. New York, v. 38, n.5, p 805-812.

CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO DE FILMES DE PAADDA/PSS E PDDA/PSS PREPARADOS POR LAYER-BY-LAYER

Samanta Costa Machado Silva

Universidade Federal do Rio de Janeiro-Campus Macaé, Laboratório de Materiais Poliméricos e Eletroquímica.

Macaé-Rio de Janeiro

Jorge Amim Júnior

Universidade Federal do Rio de Janeiro-Campus Macaé, Laboratório de Materiais Poliméricos e Eletroquímica.

Macaé-Rio de Janeiro

Ana Lucia Shiguihara

Universidade Federal do Rio de Janeiro-Campus Macaé, Laboratório de Materiais Poliméricos e Eletroquímica.

Macaé-Rio de Janeiro

RESUMO: Neste trabalho, filmes de poli(acrilamida-co-dialildimetilamônio)/ poli(estirenosulfonato), PAADDA/PSS, e poli(dialildimetilamônio)/ poli(estirenosulfonato), PDDA/PSS, foram preparados pela técnica de *layer-by-layer* (LbL) sobre lâminas de quartzo. Os filmes foram caracterizados por espectroscopia na região do UV-Vis, microscopia de força atômica (AFM) e através de medidas de ângulos de contato. Além disso, a cinética de adsorção do ácido tânico (TA) sobre os filmes de PAADDA/PSS e PDDA/PSS foi investigada. Os espectros de absorção na região do UV-Vis de PAADDA/PSS e PDDA/

PSS sobre lâminas de quartzo confirmaram a formação dos filmes finos. As imagens de AFM mostraram que o filme de PAADDA/PSS é mais rugoso que o filme de PDDA/PSS. As medidas de ângulo de contato revelaram que o filme de PAADDA/PSS é mais hidrofílico do que o PDDA/PSS. A capacidade de adsorção do TA seguiu a ordem: PAADDA/PSS > PDDA/PSS. O melhor modelo cinético encontrado para o processo de adsorção do TA sobre o filme de PAADDA/PSS foi o de pseudo-segunda ordem. O modelo de difusão de intrapartícula mostrou que o mecanismo de adsorção do TA sobre o filme de PAADDA/PSS ocorre em duas etapas. **PALAVRAS-CHAVE:** *layer-by-layer*, ácido tânico, polieletrólito.

ABSTRACT: In this work, films of poly(acrylamide-co-diallyldimethylammonium)/ poly(styrene sulfonate), PAADDA/PSS, and poly(diallyldimethylammonium)/ poly(styrene sulfonate), PDDA/PSS, were fabricated by layer-by-layer (LbL) self assembly onto quartz slides. The films were characterized by means of UV-Vis spectroscopy, atomic force microscopy (AFM) and angle contact measurements. Moreover, the adsorption kinetics of tannic acid on the PAADDA/PSS and PDDA/PSS films was investigated. UV-Vis absorption measurements confirmed the formation of PAADDA/PSS and PDDA/PSS films on the quartz slides. AFM

images showed that PAADDA/PSS is more rougher than PDDA/PSS film. Angle contact measurements showed that PAADDA/PSS is more hydrophilic than PDDA/PSS film. The adsorption capacities of TA on the films followed the order: PAADDA/PSS > PDDA/PSS. The adsorption kinetics of TA on PAADDA/PSS film revealed that the adsorption process was better fitted by pseudo second-order. Intraparticle diffusion model showed that the adsorption process of TA on the PAADDA/PSS film occurred in two steps.

KEYWORDS: layer-by-layer, tannic acid, polyelectrolyte.

1 | INTRODUÇÃO

A técnica LbL ou “camada sobre camada”, baseia-se na construção de filmes nanoestruturados constituídos por multicomponentes, através da adsorção eletrostática alternada de camadas catiônicas e aniônicas sobre um substrato (SILVA, 2008; RIETH, 2003) possibilitando, dessa forma, a montagem em sequência de filmes ultrafinos. As vantagens da técnica LbL permitem a organização das moléculas individuais em estruturas alternadas com alto controle de espessura, possibilitando o planejamento das propriedades finais dos filmes obtidos (SILVA, 2008; RIETH, 2003). Além da simplicidade da técnica, a LbL apresenta, ainda, um baixo custo para aplicação.

Dessa forma, para que os filmes sejam preparados, um substrato (como por exemplo, o quartzo) é imerso em uma solução contendo um polieletrólito catiônico a fim de que a camada que contenha o cátion seja formada. Após, o substrato é imerso em solução contendo o polieletrólito aniônico, permitindo, dessa forma, que o ânion seja depositado sobre a camada catiônica. Ao final do processo, obtém-se a primeira bicamada. A força motriz responsável pelo crescimento dos filmes é a atração eletrostática entre cargas opostas das moléculas que proporciona um filme com bom posicionamento das camadas individuais, independente da natureza, tamanho e topologia do substrato. A utilização de polieletrólitos é preferida às moléculas pequenas, em decorrência da maior adesão entre as camadas, como também ao substrato (DECHER, 1997).

A técnica de LbL pode ser aplicada em diferentes áreas desde a química, física, biologia e engenharias (DECHER *et al.*, 1992), incluindo o recobrimento antibacteriano e antiadesivo de superfícies utilizando biopolímeros (FOLLMANN *et al.*, 2012), a imobilização de biomoléculas para utilização em biossensores eletroquímicos (DECHER *et al.*, 1992), o desenvolvimento de membrana catalíticas (DOTZAUER *et al.*, 2006), de dispositivos eletrônicos como camadas injetoras de carga em diodos emissores de luz (HO *et al.*, 2000), e de membranas trocadoras de íons em células a combustível (MICHEL *et al.*, 2007).

O ácido tânico (Figura 1) é a forma mais simples de tanino hidrolisável obtido a partir da fermentação de vegetais, sendo solúvel em água (AN e DULTZ, 2007). É um polifenol que apresenta fórmula molecular $C_{76}H_{52}O_{46}$, composto por uma molécula

central de glicose, com um total de cinco cadeias formadas por duas moléculas de ácido gálico ligadas por esterificação (GALI *et al.*, 1992). O tanino é encontrado em alimentos como uvas, lentilhas, chocolates, vinho tinto, cerveja, café, chá preto e chá verde (ZENGIN *et al.*, 2014). Alguns estudos sugerem que o consumo de chá verde pode estar relacionado a uma menor incidência de câncer, decorrente da presença do tanino na composição do chá (KUO *et al.*, 1992).

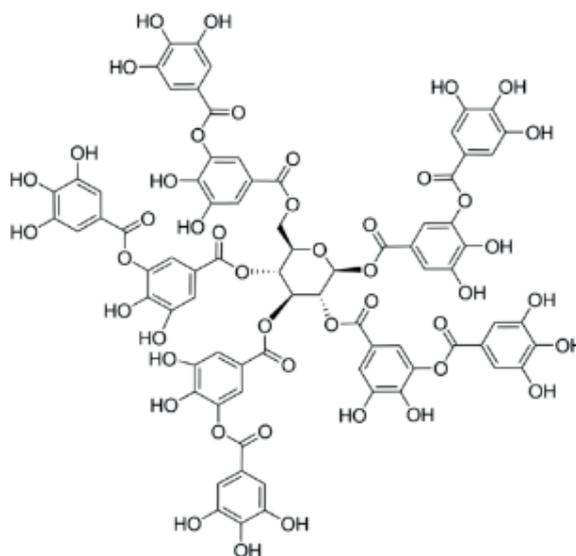


Figura 1. Estrutura química do ácido tânico.

O tanino é considerado um importante inibidor do crescimento de bactérias (STRALFORS, 1967; PAOLINO *et al.*, 1980; KASHKET *et al.* 1985), devido a capacidade de formar um complexo com proteínas, ricas em prolina, presentes na saliva (HAGERMAN e BUTLER, 1981), que estão envolvidas com a adsorção de bactérias à superfície, levando à formação de biofilmes. Essa junção permite a interferência com os receptores da superfície celular do micro-organismo envolvidos na adesão bacteriana (OTAKE *et al.*, 1991). O ácido tânico apresenta-se, também, como antimutagênico (CHEN e CHUNG, 2000), anticarcinogênico (NEPKA *et al.*, 1999), possui efeitos inibitórios sobre as enzimas do citocromo P450 (YAO *et al.*, 2008), além de atuar como agente antioxidante (CHOI *et al.*, 2006).

O objetivo desse estudo foi preparar filmes nanoestruturados entre os polímeros poli(acrilamida-co-dialildimetilamônio), PAADDA, e poliestirenosulfonato (PSS) e entre o poli(dialildimetilamônio), PDDA, e poliestirenosulfonato (PSS) pela técnica de *layer-by-layer*. Os filmes foram caracterizados por espectroscopia de absorção na região do UV-Vis, microscopia de força atômica (AFM) e medida de ângulo de contato. Além disso, a capacidade de adsorver o ácido tânico também foi investigada.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Os polímeros poliacrilamida-co-dialildimetilamônio, PAADDA, (10% m/v), com 55% de bloco acrilamida, poli(dialildimetilamônio), PDDA, e poli(estirenosulfonato) (PSS) foram adquiridos da Sigma-Aldrich. O ácido tânico (TA) foi adquirido da Sigma-Aldrich. O cloreto de sódio, ácido clorídrico e hidróxido de sódio foram adquiridos da Vetec. As lâminas de quartzo, com medidas de 35 x 25 x 1,6 mm, foram obtidas da Actquartzo. Todos os reagentes foram utilizados como recebido.

2.2 Métodos

Preparo dos filmes pela técnica de layer-by-layer

O crescimento dos filmes de PAADDA/PSS e PDDA/PSS foi realizado sobre uma lâmina de quartzo (substrato), a temperatura ambiente. A lâmina de quartzo foi inicialmente imersa em solução aquosa de PAADDA (5g.L^{-1} em $0,1\text{ mol.L}^{-1}$ de NaCl) por dois minutos. Em seguida, a lâmina foi retirada, lavada com água destilada e seca. Após esse procedimento, a lâmina foi imersa na solução do polieletrólito aniônico PSS (5g.L^{-1} em $0,1\text{ mol.L}^{-1}$ de NaCl) e mantida em contato com a solução por mais dois minutos. O processo foi repetido até a obtenção de um total de sete bicamadas. O mesmo procedimento foi realizado para o crescimento do filme PDDA/PSS.

O crescimento dos filmes foi monitorado através da banda em 223 nm, por espectroscopia de absorção na região do UV-Vis utilizando um espectrofotômetro UV-Vis da Shimadzu (UV-2600).

2.2.1 Microscopia de Força Atômica (AFM)

A caracterização da superfície dos filmes foi realizada através de imagens obtidas por medidas de AFM, com a utilização do equipamento *Molecular Imaging Pico LE Microscope*. As imagens foram obtidas no modo de contato intermitente, a temperatura ambiente, através de uma frequência de ressonância do cantilever de 306 kHz. O processo de imagens e a determinação da rugosidade, “*roughness mean square*” (RMS), foram feitos utilizando o software PicoScan 5.3.2.

2.2.2 Medidas de Ângulo de Contato

As medidas dos ângulos de contato foram realizadas, antes e após o processo de adsorção de ácido tânico, através da utilização de uma montagem construída no laboratório, composta por uma lâmpada (fonte de luz), uma objetiva fotográfica e

uma câmera digital Sony. Para realizar a medida, uma gota de água com volume de 8 μL foi depositada sobre a superfície dos filmes e posteriormente utilizada para a determinação do ângulo de contato. Os valores de ângulo de contato foram obtidos através do *software* Corel Draw.

2.2.3 Cinética de adsorção de ácido tânico sobre os filmes de PAADDA/PSS e PDDA/PSS

A cinética de adsorção do ácido tânico sobre os filmes PAADDA/PSS e PDDA/PSS foi realizada mediante a imersão dos filmes em 30 mL de uma solução aquosa de ácido tânico na concentração de $13 \mu\text{g}.\text{mL}^{-1}$ em $\text{pH} = 6$, a 24°C . A quantidade de tanino adsorvido em cada um dos filmes foi monitorada com o espectrofotômetro UV-Visível, em intervalos de cinco minutos, através do decaimento de sua banda de adsorção, no comprimento de onda de 274 nm.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização dos filmes de PAADDA/PSS e PDDA/PSS

A Figura 2 mostra o crescimento dos filmes de PAADDA/PSS e PDDA/PSS sobre a lâmina de quartzo. O monitoramento foi realizado através da banda em 223 nm do polímero PSS, que é atribuída à transição $\pi-\pi^*$ do anel aromático do PSS. Como pode ser observado na Figura 2, os filmes foram confeccionados até um total de sete bicamadas, o que possibilita avaliar que com o aumento da absorvância, há um aumento de polieletrólitos depositados sobre o substrato.

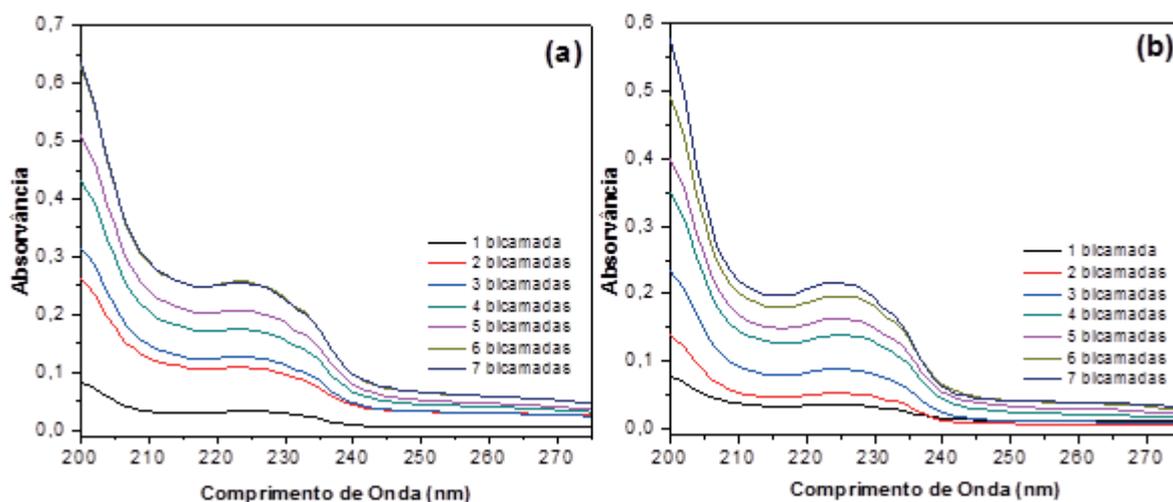


Figura 2. Crescimento dos filmes de (a) PAADDA/PSS e (b) PDDA/PSS sobre lâminas de quartzo em função do número de bicamadas.

A Figura 3 mostra o gráfico de absorvância em função do número de

bicamadas. O crescimento linear indica a uniformidade no crescimento dos filmes, sendo possível concluir que o filme PAADDA/PSS apresenta um crescimento mais acentuado quando comparado ao filme PDDA/PSS. Schoeler et al. (2004) observaram este comportamento ao preparar os filmes de PAADDA/PSS e PDDA/PSS até 10 camadas (5 bicamadas). Esse comportamento foi explicado pela maior contribuição das interações de ligação de hidrogênio entre os blocos da acrilamida do copolímero PAADDA que favorecem a produção de filmes com maior quantidade de polieletrólitos no filme.

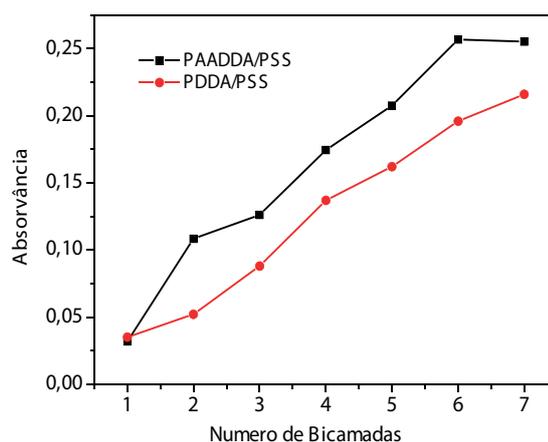


Figura 3. Gráfico de absorvância em função do número de bicamadas dos filmes de PAADDA/PSS e PDDA/PSS.

A Figura 4 mostra as imagens de AFM para a 7 bicamada dos filmes de PAADDA/PSS e PDDA/PSS.

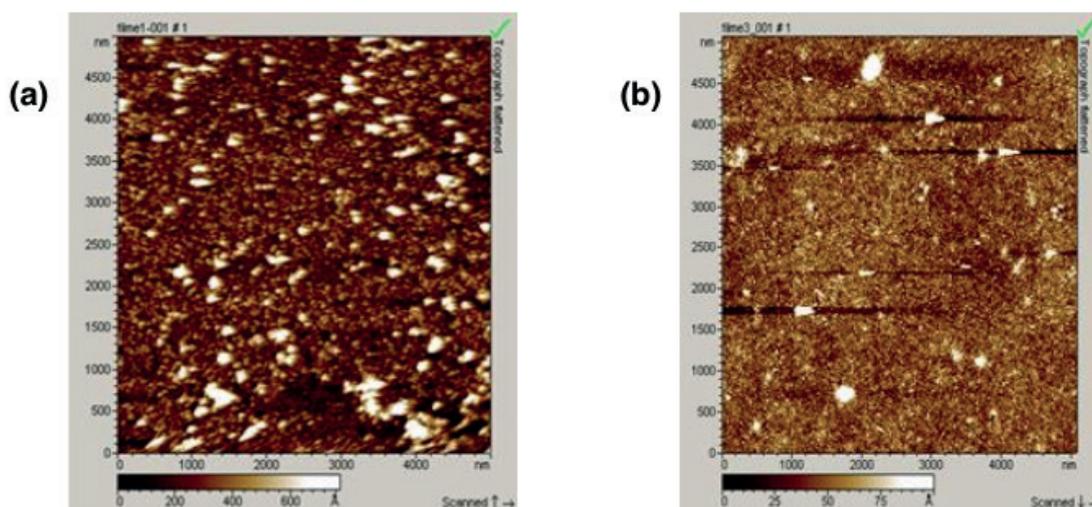


Figura 4. Imagens de AFM ($5 \mu\text{m} \times 5 \mu\text{m}$) obtidas para os filmes de (a) PAADDA/PSS, $Z= 70$ nm, (b) PDDA/PSS, $Z= 10$ nm.

Como pode ser observado na Figura 4, a superfície do filme PAADDA/PSS apresenta uma maior quantidade de agregados poliméricos do que o filme de PDDA/PSS, indicando que o filme é mais rugoso. Os valores de RMS para os filmes de PAADDA/PSS e PDDA/PSS são: 860 Å e 139 Å, respectivamente. Estes resultados indicam que o filme de PAADDA/PSS é mais rugoso que o PDDA/PSS.

Os valores de ângulo de contato (θ) encontrados para a sétima bicamada dos filmes PAADDA/PSS e PDDA/PSS, antes da adsorção do ácido tânico são 40,5° e 63,2°, respectivamente. Estes valores mostram que ambos os filmes são hidrofílicos, sendo que o filme de PAADDA/PSS apresenta uma maior hidrofilicidade. Esse resultado provavelmente está relacionado com a maior deposição de polímeros de PAADDA/PSS no filme (Figura 3), que contribuiu para melhor orientação dos grupos hidrofílicos na interface sólido-gás, apesar da rugosidade observada na sua superfície.

3.2 Cinética de adsorção do ácido tânico sobre os filmes de PAADDA/PSS e PDDA/PSS

Após o crescimento dos filmes PAADDA/PSS e PDDA/PSS, foi realizada a cinética de adsorção de ácido tânico, sobre os substratos na concentração 13 $\mu\text{g.mL}^{-1}$, pH= 6 a 25°C. A Figura 5 mostra o gráfico de absorvância em função do tempo de adsorção do TA sobre os filmes de PAADDA/PSS e PDDA/PSS.

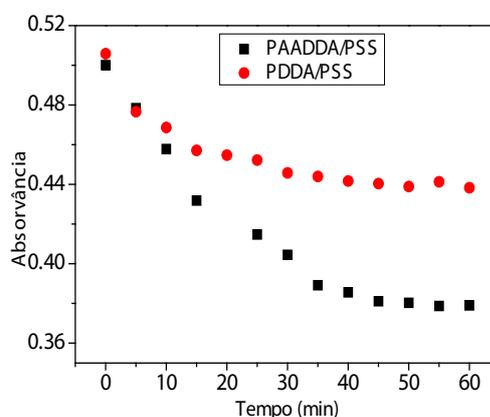


Figura 5. Cinética de adsorção do ácido tânico sobre os filmes de PAADDA/PSS e PDDA/PSS em pH 6 a 25° C.

A Figura 5 mostra o decaimento da absorvância da solução do TA em função do tempo até alcançar o tempo máximo de adsorção, que foi aproximadamente de uma hora. Verifica-se também que a absorvância da solução do TA, no tempo máximo de adsorção, foi a menor para o filme de PAADDA/PSS do que para o PDDA/PSS, indicando que ocorreu uma maior adsorção no filme que contém o PAADDA. A maior adsorção no filme de PAADDA/PSS pode ser explicada pela presença do bloco acrilamida do PAADDA que favorece uma maior interação com o TA. O polímero

PDDA não possui esse bloco acrilamida.

Os ângulos de contato (θ) medidos após a adsorção do TA sobre os filmes de PAADDA/PSS e PDDA/PSS são: 38° e 49°, respectivamente. Comparando com os valores dos filmes de PAADDA/PSS (40,5°) e PDDA/PSS (63,2°), os valores de (θ) indicam que após a adsorção do ácido tânico, os filmes se tornaram mais hidrofílicos, possivelmente devido à orientação preferencial dos grupos hidrofílicos, como hidroxilas do TA, para a interface sólido-gás.

Os modelos cinéticos de adsorção de pseudo-primeira ordem, pseudo-segunda ordem e difusão intrapartícula foram aplicados aos dados experimentais de cinética de adsorção para o filme que teve a maior adsorção de TA, neste caso o filme de PAADDA/PSS. Inicialmente foi determinada a quantidade de ácido tânico adsorvida na área da lâmina de quartzo, denominada Q (g.cm⁻²).

A cinética de uma reação pode ser descrita pela equação de pseudo-primeira ordem, definida como (LAGERGREN, 1898):

$$\ln(q_e - q_t) = \ln(q_e) - k_1 t$$

onde q_e e q_t correspondem às quantidades de material no equilíbrio e a quantidade de material adsorvido no tempo t , e k_1 corresponde a constante do processo de adsorção de pseudo-primeira ordem. Os valores obtidos podem ser plotados em um gráfico $\ln(q_e - q_t)$ versus tempo, onde é esperado a obtenção de uma linha reta, caracterizando, dessa forma, uma reação de pseudo-primeira ordem.

A cinética de adsorção pode, ainda, ser descrita pela equação de pseudo-segunda ordem (HO e MCKAY, 1998):

$$t/q_t = 1/k_2 q_e^2 + t/q_e$$

onde q_e corresponde a quantidade de tanino adsorvida no equilíbrio e q_t a quantidade de tanino adsorvida em um tempo t . Assim como no gráfico de pseudo-primeira ordem, é esperada a obtenção de uma linha reta.

De acordo com Weber e Morris (WEBER e MORRIS, 1963), se a difusão intrapartícula é o fator determinante da velocidade, a remoção do adsorbato varia com a raiz quadrada do tempo. Assim, o coeficiente de difusão intrapartícula (k_{dif}) pode ser definido pela equação:

$$q_t = k_{dif} t^{1/2} + C$$

onde q_t é a quantidade de tanino adsorvida (mg.g⁻¹), t é o tempo de agitação (min) e C (mg.g⁻¹) uma constante relacionada com a resistência a difusão. O valor de k_{dif} (mg.g⁻¹.min^{-1/2}) pode ser obtido da inclinação da reta, e o valor de C da intersecção

da curva do gráfico qt versus $t^{1/2}$.

A Figura 6 mostra os gráficos com os dados experimentais ajustados aos modelos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem:

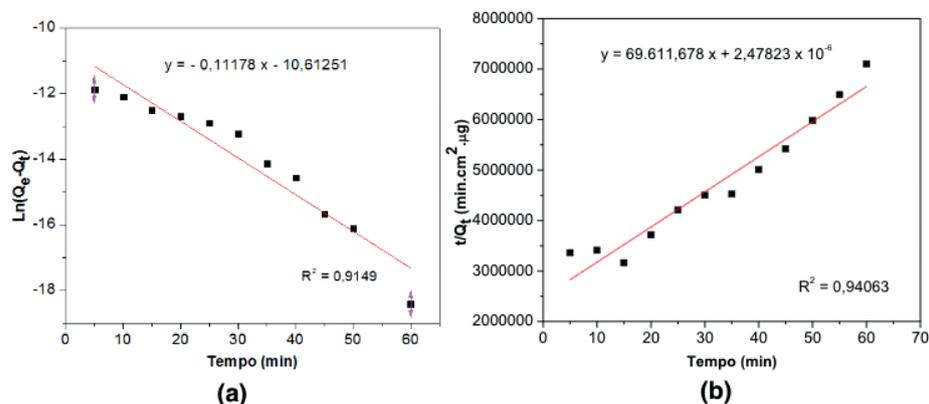


Figura 6. Modelos cinéticos para adsorção do ácido tânico sobre PAADDA/PSS a 25°C: (a) pseudo-primeira ordem e (b) pseudo-segunda ordem.

A Figura 6 mostra que o modelo cinético que apresentou o melhor coeficiente de determinação (R^2) para processo de adsorção do ácido tânico sobre os filmes de PAADDA/PSS foi o de pseudo-segunda ordem.

O mecanismo do processo de adsorção definitivo pode não ser obtido pelos modelos cinéticos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem e, portanto, o modelo da difusão intrapartícula pode ser utilizado. De acordo com Weber e Morris se a difusão intrapartícula é o fator determinante da velocidade, a remoção do adsorbato varia com a raiz quadrada do tempo. A Figura 7 mostra o gráfico de $Q_t \times t^{1/2}$ para a cinética de adsorção do ácido tânico sobre o filme de PAADDA/PSS a 25°C.

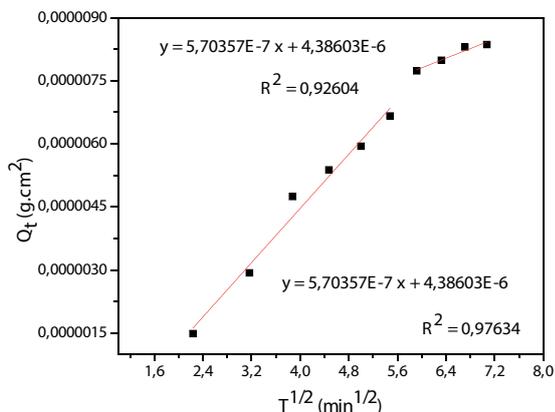


Figura 7. Modelo cinético de difusão intrapartícula para adsorção do ácido tânico sobre filme de PAADDA/PSS a 25° C.

A Figura 7 mostra que o processo de adsorção do ácido tânico ocorre em duas etapas. Além disso, o gráfico do modelo de difusão intrapartícula não passou pela

origem, indicando que o processo de adsorção apresenta mais do que uma etapa significativa no mecanismo de adsorção.

4 | CONCLUSÃO

Os resultados mostraram que os filmes nanoestruturados de PAADDA/PSS e PDDA/PSS contendo sete bicamadas foram obtidos pela técnica de automontagem e caracterizados por espectroscopia UV-Vis, microscopia de força atômica (AFM) e medidas de ângulo de contato. Devido a presença do bloco acrilamida, os polímeros PAADDA e PSS tiveram uma maior adsorção de polieletrólitos sobre o quartzo. Além disso, o filme de PAADDA/PSS foi mais hidrofílico e mais rugoso que o filme de PDDA/PSS.

A adsorção do TA seguiu a ordem PAADDA/PSS > PDDA/PSS, indicando que a presença do bloco acrilamida contribui fortemente no processo de adsorção do TA. Considerando as propriedades farmacológicas do TA, os filmes produzidos neste trabalho podem ser materiais promissores para a liberação controlada de TA.

REFERÊNCIAS

AN., J. H., DULTZ, S. **Adsorption of tannic acid on chitosan-montmorillonite as a function of pH and surface charge properties** Applied Clay Science, v. 36, p. 256-264, 2007.

CHEN, S.C.; CHUNG, K.T. **Mutagenicity and antimutagenicity studies of tannic acid and its related compounds.** Food and Chemical Toxicology. v. 38, n. 1, p. 1-5, 2000.

CHOI, J.M.; HAN, J.; YOON, B.S. **Antioxidant properties of tannic acid and its inhibitory effects on paraquat-induced oxidative stress in mice.** Food Science and Biotechnology, v. 15, n. 5, p. 728-734, 2006.

DECHER, G.; HONG, J.D.; SCHIMITT, J. **Buildup of ultrathin multilayer films by a self-assembly process: III. Consecutively alternating adsorption of anionic and cationic polyelectrolytes on charged surfaces.** Thin Solid Films Journal, v.210-211, p.831-835, 1992.

DECHER, G. **Fuzzy nanoassemblies: toward layered polymeric multicomposites.** Science, v.277, n.5330, p.1232-1237, 1997.

DOTZAUER, D. M.; DAI, J.; SUN, L.; BRUENING, M.L. **Catalytic membranes prepared using layer-by-layer adsorption of polyelectrolyte/metal, nanoparticle filmes in porous supports.** Nano Letters, v.6, n. 10, p. 2268- 2272, 2006.

FOLLMANN, H, D.M.; MRTIN, A.F.; GEROL, A.P.; BURGOT, A.; NAKAMURA, C.V.; RUBIRA, A.F.; MUNIZ, E.C. **Anti adhesive and bacterial multilayer films via layer-by-layer assembly of TMC/heparina complexes.** Biomacromolecules, v. 13, n.11, p. 3711- 3722, 2012.

GALI, H.U.; PERCHELLET, E.M.; KLISH, D.S.; JOHNSON, J.M.; PERCHELLET, J.P. **Hidrolyzable tannins: potente inhibitors of hydroperoxide production and tumor promotion in mouse skin treated with 12-O-tetradecanoylphorbol-13-acetate in vivo.** International Journal of Cancer, v.51, p.425-432, 1992.

- HAGERMAN, A.E.; BUTLER, L.G. **The specificity of proanthocyanidin-protein interactions.** The Journal of Biological Chemistry, v.256, p. 4494-4497, 1981.
- HO, O. K. H.; KIM, J.I.S.; BURROUGHES, J.H.; BECKER, H.; LI, S.F.Y.; BROWNIT, M.; CACIALLI, F.; FRIEND, R.H. **Molecular scale interface engineering for polymer light-emitting diodes.** Nature, v. 404, p. 481-484, 2000.
- HO YS, McKay G, (1998) **Sorption of dye from aqueous solution by peat.** Chemical Engineering Journal, 70(2):115-124
- KASHKET, S.; PAOLINO, V.J.; LEWIS, D.A.; VANHOUTE, J. **In vitro inhibition of glucosyltransferase from the dental plaque bacterium *Streptococcus mutans* by common beverages and food extracts.** Archives Oral Biology, v.30, n.11, p. 821-826, 1985.
- KUO, M.L.; LEE, K.C.; LIN, J.K. **Genotoxicities of nitropyrene and their modulation by apigenin, tannic acid, ellagic acid and indole-3-carbinol in the *Salmonella* and CHO systems.** Mutation Research, v.270, p.87-95, 1992.
- LAGERGREN, S. **Zur theorie der sogenannten adsorption gelöster stoffe, Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens.** Handlingar, v. 24, p. 1-39, 1898.
- MICHEL, M.; TAYLOR, A.; SEKOL, R.; PODSIADLO, P.; HO, P.; KOTOV, N.; THOMPSON, L.; **High-Performance Nanostructured Membrane Electrode Assembly for Full Cells Made by Layer-by-Layer Assembly of Carbon Nanocolloids.** Advanced Materials, v.19, n. 22, p. 3859-3864, 2007.
- NEPKA, C.; SIVRIDIS, E.; ANTONOGLU, O.; KORTSARIS, A.; GEORGELLIS, A.; TAITZOGLU, I.; HYTIROGLOU, P.; PAPADIMITROU, P.; ZINTZARAS, I.; KOURETAS, D. **Chemopreventive activity of very low dose dietary tannic acid administration in hepatoma bearing C3H male mice.** Cancer Letters. v. 141, p. 57-62, 1999.
- OTAKE, S.; MAKIMURA, M.; KUROKI, T.; NISHIHARA, Y.; HIRASAWA, M. **Anticaries effects of polyphenolic compounds from Japanese green tea.** Caries Research, v. 25, p. 438-443, 1991.
- PAOLINO, V.J.; KASHKET, S.; SPARAGNA, C.A. **Inhibition of dextran synthesis by tannic acid.** Journal of Dental Research, v.59, n.1, p.389, 1980.
- RIETH, M. **Nano-engineering in Science and Technology: an Introduction to the World of Nanodesign,** Series on the Foundations of Natural Science and Technology, v. 6, World Scientific, New Jersey, 2003.
- SCHOELER, B.; SHARPE, S.; HATTON, A.; CARUSO, F. **Polyelectrolyte multilayer films of different charge density copolymers with synergistic nonelectrostatic interactions prepared by the layer-by-layer technique.** Langmuir, v. 20, p. 2730-2738, 2004.
- SILVA, E. Z.; **Nanociência: a Próxima Grande Idéia?**, Revista USP, n. 76, p. 78-87, São Paulo, 2008.
- STRAFORS, A. **Effect on hamster caries by purine derivatives vanillin and some tannin-containing materials.** Archives Oral Biology, v.12, p.321-332, 1967.
- WEBER, W.J.; MORRIS, J.C. **Kinetics of adsorption carbon from solutions.** Journal Sanitary Engineering Division Proceedings.American Society of Civil Engineers, v.89, p.31-60, 1963.
- YAO, H.; CHANG, Y.; LAN, S.; YEH, T. **The Inhibitory effect of tannic acid on cytochrome P450 enzymes and NADPH-CYP reductase in rat and human liver microsomes.** Food and Chemical Toxicology. v. 46, p. 645-653, 2008.

ZENGIN, A.C.A.; COLAK, S.M.; ZENGIN, G.; KILIC, E. **Eco friendly soaking process using tannic acid as an alternative bactericide**. Archives of Environmental Protection, v.4, p.3-12, 2014.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA, FENÓIS TOTAIS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DAS FOLHAS DE *Simaba ferruginea*

Jessica Sara de Sousa Macêdo Oliveira

Universidade Federal do Piauí– UFPI
Teresina – Piauí

Lucivania Rodrigues dos Santos

Universidade Federal do Piauí– UFPI
Teresina – Piauí

Adonias Almeida Carvalho

Universidade Federal do Piauí – UFPI
Teresina – Piauí

Instituto Federal do Piauí – IFPI (Campus Piri-piri)
Piri-piri – Piauí

Renato Pinto de Sousa

Universidade Federal do Piauí – UFPI
Teresina – Piauí

Gerardo Magela Vieira Júnior

Universidade Federal do Piauí– UFPI
Teresina – Piauí

Ruth Raquel Soares de Farias

Universidade Federal do Piauí– UFPI
Teresina – Piauí

Mariana Helena Chaves

Universidade Federal do Piauí – UFPI
Teresina – Piauí

RESUMO: O estudo fitoquímico do extrato etanólico das folhas de *Simaba ferruginea* (Simaroubaceae) resultou no isolamento e identificação do composto fenólico ácido elágico (**1**) e do flavonoide quercitrina (**2**). O

composto **1** está sendo relatado pela primeira vez no gênero *Simaba*. O extrato, bem como as frações provenientes da partição deste apresentaram atividade antioxidante frente ao radical DPPH, sobretudo a fração acetato de etila, seguida da fração diclorometano. O extrato e fração acetato de etila exibiram os menores valores de CE_{50} e maiores percentuais de atividade antioxidante e teores de fenóis totais, determinado pelo método de Folin-Ciocalteu. O potencial antioxidante do extrato etanólico e das frações pode ser em parte atribuído a presença de compostos fenólicos ácido elágico e quercitrina.

PALAVRAS-CHAVE: ácido elágico, quercitrina, fenóis totais, *Simaba ferruginea*, Simaroubaceae

ABSTRACT: The phytochemical study of the ethanolic extract of the leaves of *Simaba ferruginea* (Simaroubaceae) resulted in the isolation and identification of the phenolic compound ellagic acid (**1**) and the flavonoid quercitrin (**2**). Compound **1** is being reported for the first time in the genus *Simaba*. The extract, as well as the fractions from the partition, showed antioxidant activity against the DPPH radical, especially the ethyl acetate fraction, followed by the dichloromethane fraction. The extract and ethyl acetate fraction showed the lowest values of IC_{50} and higher of percentage of antioxidant activity and total phenol contents,

determined by the Folin-Ciocalteu method. The antioxidant potential of the ethanolic extract and fractions can be partly attributed to the presence of phenolic compounds ellagic acid and quercitrin.

KEYWORDS: ellagic acid, quercitrin, total phenol contents, *Simaba ferruginea*, Simaroubaceae

1 | INTRODUÇÃO

O gênero *Simaba* Aubl. (Simarubaceae) possui aproximadamente 35 espécies (NUNOMURA et al., 2012), destas 22 espécies e duas subespécies são encontradas no Brasil, distribuídas nas regiões Norte, Nordeste, Centro-oeste e Sudeste (BARBOSA et al., 2011; FORZZA et al., 2010; PIRANI; THOMAS, 2015). As espécies de *Simaba* são fontes ricas de quassinoides e alcaloides indólicos do tipo cantinona, sendo os quassinoides os marcadores taxonômicos do gênero e família. Outras classes de compostos encontrados no gênero incluem triterpenoides, flavonoides, esteroides, cumarinas e antraquinonas (ALVES et al., 2014; BARBOSA et al., 2011; MESQUITA-SAAD; CABRAL, 1997; NUNOMURA et al., 2012; SARAIVA et al., 2006). Estudos farmacológicos relatam as atividades antimalárica, antitumoral, fitotóxica, inseticida, antiparasitária, antiviral, anti-inflamatória, antileucêmica e antiúlcera em espécies de *Simaba* (ALMEIDA et al., 2007; ARRIAGA et al., 2002; BARBOSA et al., 2011).

A espécie *Simaba ferruginea* A. St.-Hill, conhecida popularmente como calunga, calunga ferruginea e féo da terra, é endêmica e nativa do cerrado brasileiro (FORZZA et al., 2010; NOLDIN et al., 2005; NOLDIN, 2005; PIRANI; THOMAS, 2015) e empregada na medicina tradicional no tratamento de úlceras gástricas, diarreia, febre, reumatismo, obesidade, entre outras (CUNHA et al., 2008; NOLDIN et al., 2005). Estudos fitoquímicos relatam o isolamento dos alcaloides cantin-6-ona e 4-metoxicantin-6-ona no extrato metanólico do rizoma (ALMEIDA et al., 2011; CUNHA et al., 2008; NOLDIN et al., 2005), bem como do esteroide sitosterol e do flavonoide quercitrina no extrato das folhas (NOLDIN, 2005). Comprovaram as atividades antiúlcera, antinociceptiva, antifúngica e antimicrobiana no rizoma (ALMEIDA, et al., 2011, NOLDIN, 2005; NOLDIN et al., 2005; SILVA JUNIOR, et al., 2009) e antiúlcera nas folhas (NOLDIN, 2005).

Com o intuito de contribuir com o conhecimento quimiotaxonômico do gênero *Simaba* esse estudo teve como objetivo realizar o isolamento e identificação dos constituintes químicos e avaliar o potencial biológico dos extratos e frações das folhas da espécie *S. ferruginea*.

2 | METODOLOGIA

As folhas de *S. ferruginea* St. Hil. foram coletadas em agosto de 2013 em Jerumenha - PI (S 07° 02' 29,5", W 43° 24' 58,3", altitude: 236 m). A espécie foi

identificada pela bióloga Dra. Ruth Raquel Soares de Farias e uma exsicata encontra-se depositada no Herbário Graziela Barroso da Universidade Federal do Piauí – UFPI, com o número de registro TEPB 30117 e cadastro de acesso SisGen nº AAB530D. O material vegetal foi seco e moído (1381 g) e submetido à maceração exaustiva com etanol (98%). O solvente foi removido em evaporador rotativo à pressão reduzida e a água residual por liofilização, fornecendo o extrato etanólico das folhas (389 g).

Uma alíquota de 200 g do extrato foi suspensa em 600 mL de MeOH/H₂O (1:1) e submetida a partição, resultando nas frações hexânica (FH, 40 g), diclorometano (FDCM, 4 g), acetato de etila (FEA, 109 g) e aquosa (FA, 47 g). Durante o processo de partição um precipitado (ppt1) foi formado na interfase da fração hexânica e hidroalcoólica, sendo então removido e suspenso em MeOH, obtendo-se o sobrenadante S (2,1 g) e o precipitado ppt2 (1,5 g) que foi analisado por IV, RMN de ¹H e de ¹³C e identificado como o composto **1**.

O sobrenadante S (2,0 g) foi fracionado em coluna de gel de sílica, eluída com CHCl₃/MeOH, em ordem crescente de polaridade, fornecendo 95 frações (S1-S95) que foram reunidas em 16 grupos, com base no perfil em cromatografia em camada delgada. O grupo S-46 (46-52; 99,5 mg) foi submetido a cromatografia em coluna de Sephadex LH-20, eluída com MeOH (100%), fornecendo 34 frações as quais foram reunidas em 10 subgrupos. O subgrupo SS 21 (21-25, 50 mg) foi obtido como um sólido amarelo, analisado por RMN de ¹H e de ¹³C e identificado como **2**.

As análises por ressonância magnética nuclear de hidrogênio e carbono-13 (RMN de ¹H e de ¹³C) foram realizadas em espectrômetro Varian INOVA-modelo 400, operando a 400 MHz para o ¹H e 100 MHz para o ¹³C. Foram utilizados DMSO-*d*₆ ou CD₃OD como solventes e TMS como referência interna.

A atividade antioxidante dos extratos e frações de *S. ferruginea* foi determinada pelo método de sequestro do radical livre DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazila), por meio da interpolação da absorvância das amostras contra uma curva analítica construída com soluções metanólicas de DPPH nas concentrações de 1 a 35 µg mL⁻¹ (SOUSA et al., 2007).

As medidas das absorvâncias das misturas reacionais, constituídas de 0,3 mL de solução das amostras (nas concentrações de 25, 50, 100, 150, 200 e 250 µg mL⁻¹) com 2,7 mL da solução de DPPH (40 µg mL⁻¹), foram feitas a 516 nm, em espectrofotômetro UV-Vis Lambda-25 da PerkinElmer, e monitoradas até 30 minutos de reação. A mistura de metanol (2,7 mL) e solução metanólica das amostras (0,3 mL) foi utilizada como branco. O percentual de atividade antioxidante (%AA) foi determinado conforme a Equação 1, onde Abs_{DPPH} é a absorvância inicial da solução metanólica de DPPH; Abs_{amostra} é a absorvância da mistura reacional e Abs_{branco} é a absorvância do branco.

$$\%AA = \{[Abs_{DPPH} - (Abs_{amostra} - Abs_{branco})] \times 100\} / Abs_{DPPH}$$

Equação 1

Os resultados foram expressos pelo valor da CE_{50} definida como concentração eficiente em $\mu\text{g mL}^{-1}$ da amostra capaz de reduzir em 50% a concentração do radical livre DPPH (SOUSA et al., 2007).

O conteúdo de fenóis totais dos extratos e frações de *S. ferruginea* foi determinado pelo método de Folin-Ciocalteu como descrito por Sousa et al. (2007). Uma alíquota de 100 μL das soluções metanólicas das amostras ($1000 \mu\text{g mL}^{-1}$) foi transferida para um balão volumétrico e adicionados 500 μL do reagente Folin-Ciocalteu, 5,0 mL de água destilada e agitado por um minuto. Em seguida adicionou-se 2,0 mL da solução de carbonato de sódio 15% (m/v) com agitação por 30 segundos. O volume de 10 mL foi completado com água destilada. Após duas horas de reação, as absorvâncias das amostras foram medidas a 750 nm. Para o branco realizou-se o mesmo procedimento substituindo-se a solução da amostra por 100 μL de metanol. O conteúdo de fenóis totais foi expresso em miligramas de equivalente de ácido gálico por grama de extrato (mg EAG g^{-1}) obtido a partir da curva analítica construída com padrão de ácido gálico ($0,1\text{-}2,5 \mu\text{g mL}^{-1}$, $R=0,999$).

2.1 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo fitoquímico do extrato etanólico das folhas de *S. ferruginea* resultou no isolamento e identificação do composto fenólico ácido elágico (**1**) e do flavonoide quercitrina (**2**) (Figura 1). As fórmulas estruturais foram identificadas por métodos espectroscópicos de IV, RMN de ^1H e de ^{13}C (incluindo DEPT 90° e 135°) e por comparação com dados descritos na literatura.

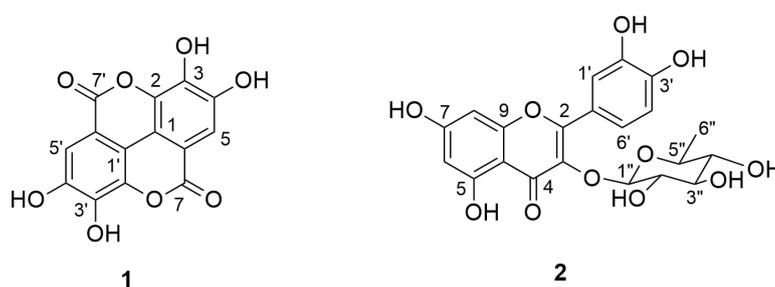


Figura 1. Constituintes químicos isolados do extrato etanólico das folhas de *S. ferruginea*

O composto **1** (1,5 g) foi isolado como um sólido amorfo branco e solúvel em dimetilsulfóxido. O espectro na região do infravermelho (Figura 2) apresentou absorções em 3558 e 3070 cm^{-1} de vibrações de estiramento O-H livre e ligada, respectivamente, em 1692 cm^{-1} de estiramento C=O conjugada, entre $1450\text{-}1616 \text{ cm}^{-1}$ correspondentes a estiramento C-C de aromático e em 1394 cm^{-1} de estiramento C-O (ZHANG et al., 2004).

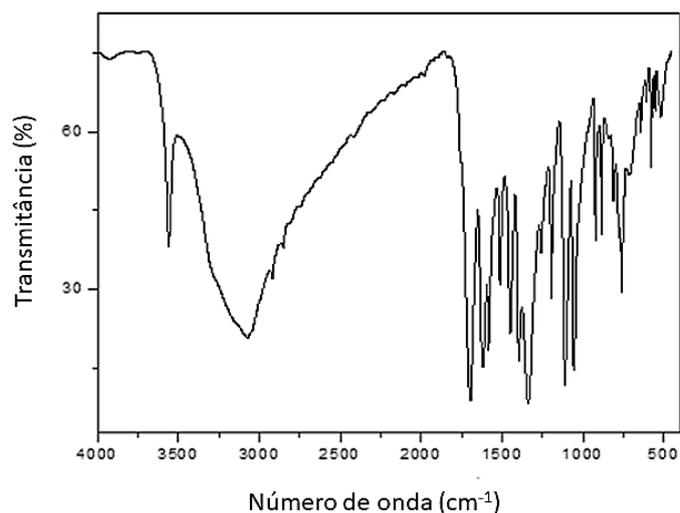


Figura 2. Espectro de IV (KBr) do composto 1.

Os espectros de RMN de ^1H e de ^{13}C apresentaram sinais característicos de derivado de ácido gálico (Figura 3). O espectro de RMN de ^1H mostrou um único sinal em δ_{H} 7,46 (2H, s) atribuído aos hidrogênios H-5 e H-5', enquanto que o espectro de RMN de ^{13}C apresentou sete sinais (Tabela 1).

A análise do espectro DEPT 135° revelou apenas um sinal em δ_{C} 110,4 que foi atribuído aos carbonos metínicos C-5 e C-5'. Os demais sinais tratam-se de carbonos não hidrogenados, destes, um em δ_{C} 159,2 foi atribuído aos carbonos da carbonila, C-7 e C-7'. Os dados espectroscópicos obtidos em comparação com os descritos na literatura (CUI et al., 2002; SILVA et al., 2007), permitiram identificar o composto **1** como sendo o ácido elágico.

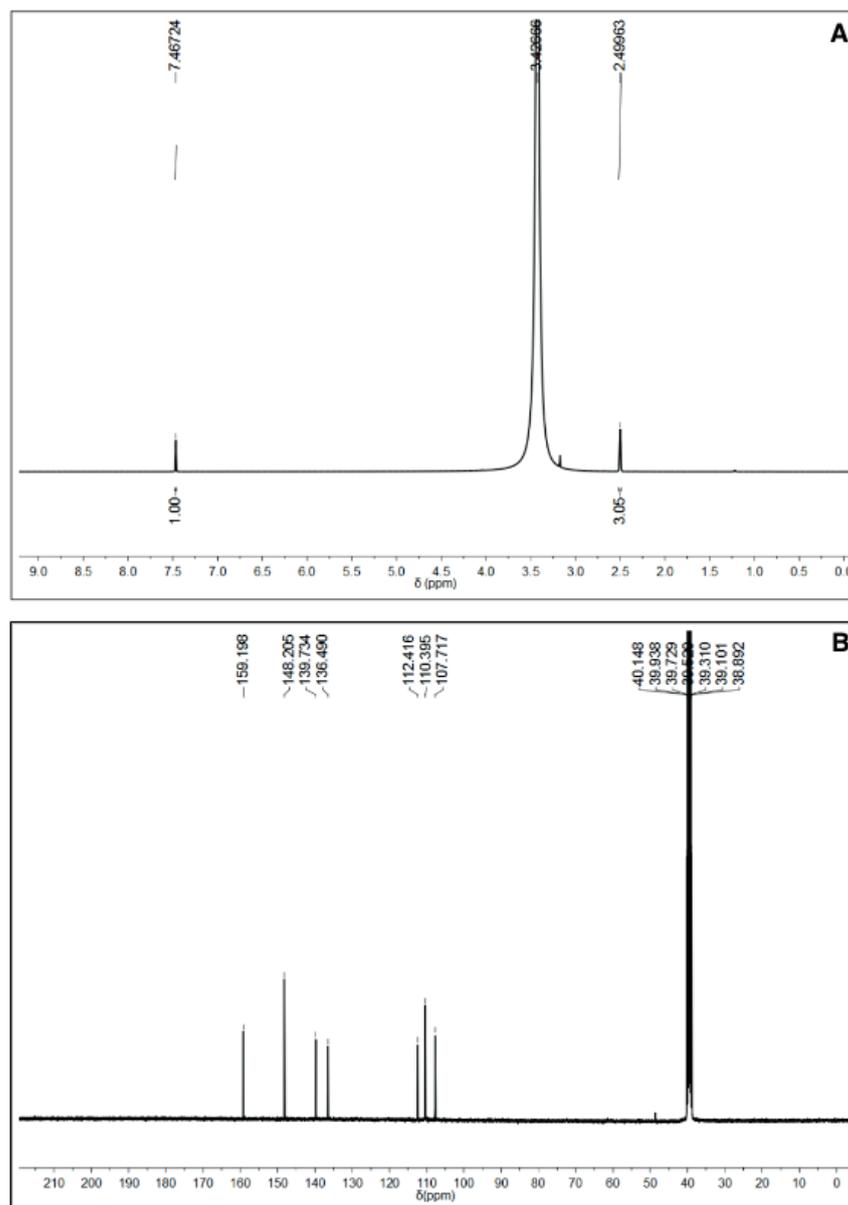


Figura 3. Espectro de RMN de ¹H (A) e de ¹³C (B) do composto 1 (DMSO-*d*₆, 400 e 100 MHz).

O ácido elágico é um agente quimiopreventivo eficaz para toxicidade induzida por níquel, reduz o estresse oxidativo (AHMED et al., 1999) e apresenta ainda atividades antifúngica (LI et al., 2015), antioxidante (HAYES et al., 2011), antinociceptiva (MANSOURI, 2015), hepatoprotetora, antiviral e anticâncer, entre outros (GIRISH; PRADHAN, 2008). Este composto foi anteriormente identificado no extrato aquoso das cascas do caule de *Simarouba amara* (Simaroubaceae) (MARANHÃO et al., 2014) e isolado a partir das folhas de *Holacantha emoryi* (Simaroubaceae) (STOCKLIN; SILVA; GEISSMAN, 1969), entretanto, este é o primeiro relato do isolamento desse composto em plantas do gênero *Simaba*.

C	Tipo de C	δ_H	δ_C (ppm)	
			1	Ácido elágico*
1,1'	C		112,4	112,4
2,2'	C		136,5	136,4
3,3'	C		139,7	139,7
4,4'	C		148,2	148,5
5,5'	CH	7,46 (s)	110,4	110,2
6,6'	C		107,7	107,5
7,7'	C		159,2	159,2

Tabela 1. Dados de RMN de ^1H e de ^{13}C (400 e 100 MHz, DMSO- d_6) do composto **1**.

*Dados em DMSO- d_6 relatados por Silva et al. (2007).

O composto **2** (50,0 mg) foi isolado como um sólido amarelo e solúvel em metanol. Os espectros de RMN de ^1H e de ^{13}C (Figuras 4, Tabela 2) apresentaram perfis característicos de flavonoides glicosilados, evidenciados pela presença de sinais entre δ_H 3,2-4,2 e d_C 71,9-73,2 referentes a presença de açúcar e entre δ_H 6,14-7,29 correspondentes aos hidrogênios de anel aromático.

O espectro de RMN de ^1H apresentou um duplete em δ_H 5,30 ($J=1,4$ Hz) característico de hidrogênio de carbono anomérico em açúcar com configuração α e um duplete em δ_H 0,90 ($J=6,1$ Hz) referente a hidrogênio de carbono metílico, sugerindo a presença de unidade α -L-ramnosídica. Os dupletos em δ_H 6,14 e 6,30 ($J=2,0$ Hz), característicos de hidrogênios em posição *meta*, foram atribuídos a H-6 e H-8 do anel A, respectivamente. Os sinais em δ_H 7,29 (d, $J=2,0$ Hz), 7,25 (dd, $J=2,0$ Hz e 8,3 Hz) e 6,86 (d, $J=8,3$ Hz) são referentes a H-2', H-6', H-5' definiram o padrão 1,3,4-trissubstituído para o anel B.

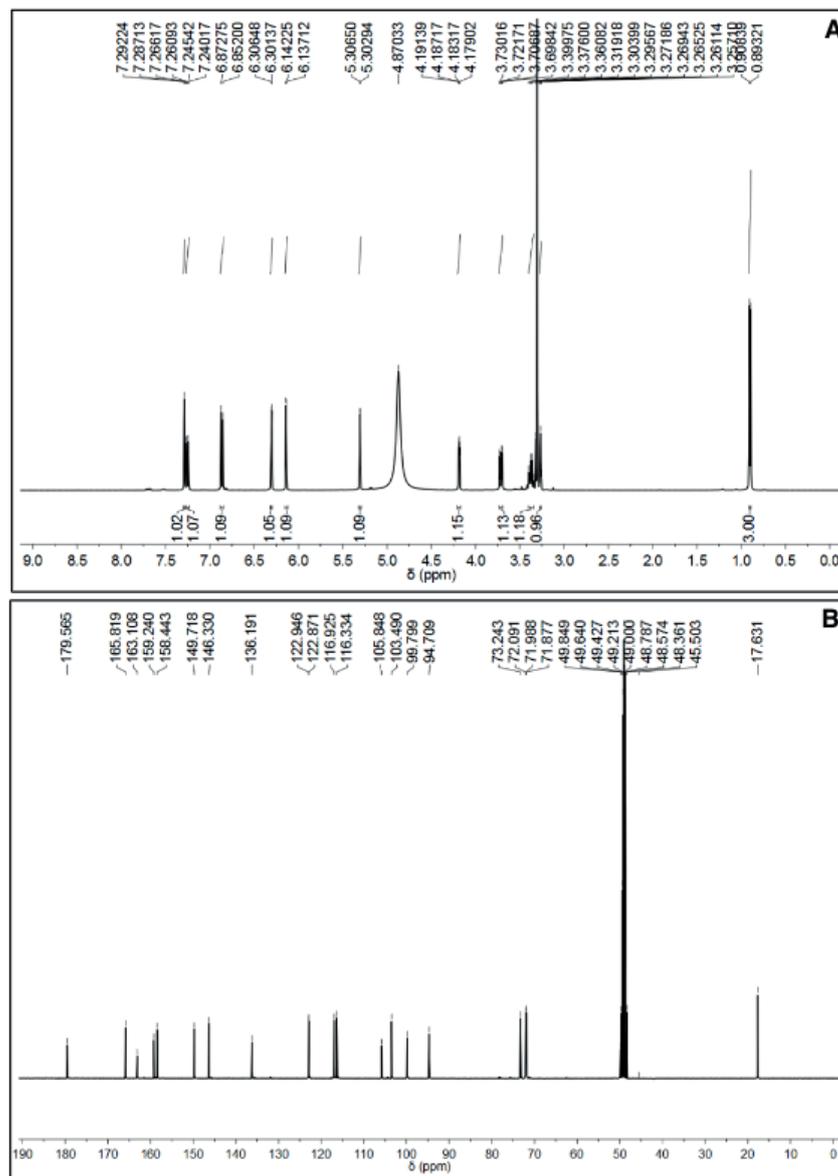


Figura 4. Espectro de RMN de ^1H (A) e de ^{13}C (B) do composto **2** (CD_3OD , 400 e 100 MHz).

Os espectros de RMN de ^{13}C , DEPT 135° e 90° evidenciaram a presença de 21 sinais, sendo quinze referentes à aglicona e seis a uma unidade de açúcar. O sinal em d_c 179,6, característico de carbonila, é referente à C-4. Os sinais em d_c 17,6 do carbono metílico (C-6''), entre δ_c 71,9-73,2, atribuídos a quatro carbonos metínicos (C-2'' a C-5'') e em δ_c 103,5, característico de carbono anomérico (C-1''), confirmaram a presença da unidade α -L-ramnosídica.

Os dados espectroscópicos obtidos em comparação com os descritos na literatura (ALBUQUERQUE et al., 2014; LU; HU; XIA, 2010) permitiram identificar o composto **2** como sendo o flavonoide quercetina-3-*O*- α -L-ramnosídeo, também conhecida como quercitrina.

A quercitrina apresenta atividade antioxidante (ARTANTI; MA'ARIFA; HANAFI, 2006), fototóxica (WILHELM et al., 2001), antibacteriana (ARIMA et al.; 2002), neuroprotetora (MA et al., 2015), leishmanicida (SILVA; MAQUIAVELI; MAGALHÃES, 2012), anticancerígena (CINCIN et al., 2014), anti-inflamatória (CAMUESCO et al.,

2006) e ação protetora da pele contra danos oxidativos induzidos por exposição à radiação UVB (YIN et al., 2013). Este composto foi isolado anteriormente na fração acetato de etila das folhas de *S. ferruginea* (NOLDIN et al., 2005).

C	Tipo de carbono	2		Quercetina-3-O- α -L-ramnosídeo*
		d _c (ppm)	δ _H (ppm)	
2	C	158,4		158,4
3	C	136,2		136,2
4	C=O	179,6		179,6
5	C	163,1		163,1
6	CH	99,8	6,14 (d, J = 2,0)	99,8
7	C	165,8		165,8
8	CH	94,7	6,30 (d, J = 2,0)	94,7
9	C	159,2		159,2
10	C	105,8		105,8
1'	C	122,9		122,9
2'	CH	116,9	7,29 (d, J = 2,0)	116,9
3'	C	146,3		146,3
4'	C	149,7		149,7
5'	CH	116,3	6,86 (d, J = 8,3)	116,3
6'	CH	122,8	7,25 (dd, J = 8,3 e 2,0)	122,8
1''	CH	103,5	5,30 (d, J = 1,4)	103,5
2''	CH	71,9	4,19 (dd, J = 1,4 e 3,4)	71,8
3''	CH	72,1	3,71 (dd, J = 3,4 e 9,3)	72,1
4''	CH	73,2	3,27 (m)	73,2
5''	CH	72,0	3,38 (m)	72,0
6''	CH ₃	17,6	0,90 (d, J = 6,1)	17,6

Tabela 2. Dados de RMN de ¹H e de ¹³C (400 e 100 MHz, δ /ppm, J/Hz, CD₃OD) do composto 2.

*Dados em CD₃OD relatados por Albuquerque et al. (2014).

Compostos fenólicos, como ácido gálico (1) e a quercitrina (2), são reconhecidos por possuírem atividade antioxidante, que é a capacidade de combater e/ou reduzir o estresse oxidativo ocasionado pela produção excessiva de radicais livres no organismo, estes por sua vez estão relacionados ao surgimento de diversas enfermidades como câncer, diabetes, doenças cardiovasculares, distúrbios gastrointestinais, doenças neurodegenerativas, entre outras (BARHÉ, 2014; CARMONA-JIMÉNEZ, 2014; WU; KOSTEN; ZHANG, 2013; OLIVEIRA, 2012).

Diversos métodos têm sido utilizados para determinação de atividade antioxidante, dentre eles, o método de sequestro de radical livre DPPH, de cor púrpura que na presença de uma espécie antioxidante é reduzido a um composto mais estável de coloração amarela. Todas as frações provenientes do extrato etanólico possuem atividade antioxidante (Tabela 3), sobretudo a fração acetato de etila que apresentou o maior percentual de atividade antioxidante e menor valor de CE₅₀, indicando que a partição do extrato concentrou a maior parte das substâncias

antioxidantes nesta fração. O extrato etanólico e a fração acetato de etila foram mais ativas que os controles positivos rutina e BHT (butilhidrotolueno). As frações hexânica e diclorometano foram menos ativas não sendo possível calcular a CE_{50} , pois não houve redução em 50% do radical DPPH nas concentrações testadas. O extrato etanólico apresentou atividade antioxidante superior ao relatado para outros extratos de espécies da família Simaroubaceae (ALBOUCHI et al., 2013).

O teor de fenóis totais do extrato das folhas e frações de *S. ferruginea* obedeceu a seguinte ordem: FAE>EEF>FA>FDCM>FH (Tabela 3). Mostrando que os compostos fenólicos ficaram mais concentrados na fração acetato de etila após a partição do extrato. Este resultado comparado com os dados de fenóis totais obtidos para cinco espécies estudadas por Sousa et al. (2007) mostram que o extrato etanólico das folhas de *S. ferruginea* e fração acetato de etila exibiram conteúdo de fenóis totais superiores aos extratos de quatro delas.

Estes dados correlacionam com a atividade antioxidante, uma vez que os compostos fenólicos são responsáveis por tal atividade. Em geral, quanto maior o conteúdo de fenóis totais de uma amostra, maior sua atividade antioxidante.

Amostras	FT	%AA \pm DP*	CE_{50}
	mg EAG g ⁻¹ de amostra \pm DP		$\mu\text{g mL}^{-1} \pm$ DP
EEF	565,25 \pm 4,65	92,75 \pm 0,20	42,00 \pm 3,20
FH	119,55 \pm 1,96	21,32 \pm 3,31	nd
FDCM	233,52 \pm 2,92	46,46 \pm 1,41	nd
FAE	654,94 \pm 3,59	95,96 \pm 0,17	32,67 \pm 0,63
FA	345,23 \pm 2,77	91,08 \pm 0,25	91,87 \pm 3,78
Rutina	nd	94,14 \pm 0,22	47,06 \pm 4,65
BHT	nd	89,88 \pm 0,83	69,34 \pm 5,53

Tabela 3. Conteúdos de fenóis totais (FT) e atividade antioxidante (%AA e CE_{50}) do extrato e frações de *S. ferruginea*.

EAG: equivalente de ácido gálico; DP: desvio padrão; nd: não determinado. EEF: extrato etanólico das foas, FH: fração hexânica, FDCM: fração diclorometano, FAE: fração acetato de etila e FA: fração aquosa; CE_{50} : concentração eficiente mínima, *concentração de 250 $\mu\text{g mL}^{-1}$.

3 | CONCLUSÃO

O estudo químico das folhas de *S. ferruginea* resultou no isolamento dos compostos fenólicos ácido elágico (1) e quercetina-3-O- α -L-ramnosídeo (quercitrina) (2).

Na análise de atividade antioxidante, a fração acetato de etila e o extrato etanólico das folhas apresentaram os maiores percentuais de atividade antioxidante, com CE_{50} de 32,67 \pm 0,63 $\mu\text{g mL}^{-1}$ e 42,00 \pm 3,20 $\mu\text{g mL}^{-1}$, respectivamente, bem como os maiores teores de fenóis totais. Estes resultados podem ser justificados, em parte, pela presença dos compostos fenólicos ácido elágico (1) e quercetina-3-O- α -

L-ramnosídeo (quercitrina) (2) isolados do extrato etanólico das folhas. Os resultados obtidos contribuem para o conhecimento da composição química e potencial biológico da espécie *S. ferruginea*.

4 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES e CNPq pelo apoio financeiro e pelas bolsas de J. S. S. M. Oliveira, L. R. Santos, R. P. Sousa e M. H. Chaves (302470/2018-2) e ao INCTBioNat (465637/2014-0).

REFERÊNCIAS

- AHMED, S. et al. Ellagic acid ameliorates nickel induced biochemical alterations: diminution of oxidative stress. **Human & Experimental Toxicology**, v. 18, n. 11, p. 691-698, 1999.
- ALBOUCHI, F. et al. Phytochemicals, antioxidant, antimicrobial and phytotoxic activities of *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle leaves. **South African Journal of Botany**, v. 87, p. 164-174, 2013.
- ALBUQUERQUE, C. H. et al. Flavonoides glicosilados de *Erythroxylum pulchrum* A. St.-Hil. (Erythroxylaceae). **Química Nova**, v. 37, n. 4, p. 663-666, 2014.
- ALMEIDA, E. S. S. et al. Pharmacological mechanisms underlying the anti-ulcer activity of metanol extract na cathin-6-one of *Simaba ferruginea* A. St-Hil. in animal models. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 134, n. 3, 630-636, 2011.
- ALMEIDA, M. M. B. et al. Ocorrência e atividade biológica de quassinoides da última década. **Química Nova**, v. 30, n. 4, pp. 935-951, 2007.
- ALVES, I. A. B. S. et al. Simaroubaceae Family: botany, chemical composition and biological activities. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 24, n. 3, p. 481-501, 2014.
- ARIMA, H.; ASHIDA, H.; DANNO, G. Rutin-enhanced Antibacterial Activities of Flavonoids against *Bacillus cereus* and *Salmonella enteritidis*. **Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry**, v. 66, n. 5, p. 1009-1014, 2002.
- ARRIAGA, A. M. C. et al. Chemical constituents of *Simarouba versicolor*. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. v.74, n.3, pp.415-424, 2002.
- ARTANTI, N.; MA'ARIFA, Y.; HANAFI, M. Isolation and identification of active antioxidant compound from star fruit (*Averrhoa carambola*) mistletoe (*Dendrophthoe pentandra* (L.) miq.) ethanol extract. **Journal of Applied Sciences**, v. 6, p.1659-1663, 2006.
- BARBOSA, L. F.; BRAZ-FILHO, R.; VIEIRA, I. J. C. Chemical Constituents of Plants from the Genus *Simaba* (Simaroubaceae). **Chemistry & Biodiversity**, v. 8. p. 2163-2178, 2011.
- BARHÉ, T. A.; TCHOUYA, G. R. F. Comparative study of the anti-oxidant activity of the total polyphenols extracted from *Hibiscus Sabdariffa* L., *Glycine max* L. Merr., yellow tea and red wine through reaction with DPPH free radicals. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 9, p. 1-8, 2014.
- CAMUESCO, D. et al. Dietary olive oil supplemented with fish oil, rich in EPA and DHA (n-3) polyunsaturated fatty acids, attenuates colonic inflammation in rats with DSS-induced colitis. **The Journal of Nutrition**, v. 135, n. 4, p. 687-694, 2005.

- CARMONA-JIMÉNEZ, Y. et al. Simplification of the DPPH assay for estimating the antioxidante activity of wine and wine by-products. **Food Chemistry**, v. 165, p. 198-200, 2014.
- CINCIN, Z. B. et al. Molecular mechanisms of quercitrin-induced apoptosis in nonsmall cell lung cancer. **Archives of Medical Research**, v. 45, n. 6, p. 445-454, 2014.
- CUI, C. B. et al. A new polyphenolic compound from *Rubus aleaefolius* and its inhibitory activity on mammalian cell cycle at G0/G1 Phase. **Chinese Chemical Letters**, v. 13, n. 4, p. 327-330, 2002.
- CUNHA, G. P. et al. Utilization of chitin and chitosan as chromatography supports for separation of alkaloids from dichloromethane extract of *Simaba ferruginea*. **Latin American Journal of Pharmacy**, v. 27, n. 2, 255-257, 2008.
- FORZZA, R. C.; et al. Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro. **Catálogo de plantas e fungos do Brasil**, Rio de Janeiro. v. 2, 2010.
- GIRISH, C.; PRADHAN, S. C. Drug development for liver diseases: focus on picroliv, ellagic acid and curcumin. **Fundamental & Clinical Pharmacology**, v. 22, n. 6, p. 623-632, 2008.
- HAYES, J. E. et al. Phenolic composition and in vitro antioxidant capacity of four commercial phytochemical products: Olive leaf extract (*Olea europaea* L.), lutein, sesamol and ellagic acid. **Food Chemistry**, v. 126, n. 3, p. 948-955, 2011.
- LI, Z. J. et al. Antifungal activity of ellagic acid *in vitro* and *in vivo*. **Phytotherapy research**, v. 29, n. 7, p. 1019-1025, 2015.
- LU, R. L.; HU, F. L.; XIA, T. Activity-guided isolation and identification of radical scavenging components in Gao-Cha Tea. **Journal of Food Science**, v. 75, n. 8, p. H239-H243, 2010.
- MA, J. Q. et al. Quercitrin offers protection against brain injury in mice by inhibiting oxidative stress and inflammation. **Food & Function**, v. 7, n. 1, p. 549-556, 2015.
- MANSOURI, M. T.; NAGHIZADEH, B.; GHORBANZADEH, B. Ellagic acid enhances the antinociceptive action of venlafaxine in mouse acetic acid-induced pain: An isobolographic analysis. **Pharmacological Reports**, v. 67, n. 3, p. 473-477, 2015.
- MARANHÃO, H. M. L. et al. Hepatoprotective effect of the aqueous extract of *Simarouba amara* Aublet (Simaroubaceae) stem bark against carbon tetrachloride (CCl₄)-induced hepatic damage in rats. **Molecules**, v. 19, n. 11, p. 17735-17746, 2014.
- MESQUITA-SAAD, L. S. B.; CABRAL, J. A. S. Cantinona de *Simaba Polyphylla* (Cavalc.) Thomas (SIMAROUBACEAE). **Acta Amazonica**, v. 27, n. 4, 269-272, 1997.
- NOLDIN, V. F. **Estudo fitoquímico das folhas e rizomas de *Simaba ferruginea* St. Hil. e a avaliação da atividade antiúlcera antinociceptiva dos extratos e compostos isolados**. 2005. 91 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) - Universidade do Vale do Itajaí, Santa Catarina, 2005.
- NOLDIN, V. F. et al. Phytochemical and antiulcerogenic properties of rhizomes from *Simaba ferruginea* St. Hill. (Simaroubaceae). **Zeitschrift für Naturforschung**, v. 60, n. 9-10, 701-706, 2005.
- NUNOMURA, R. C. S. et al. Constituintes químicos dos galhos de *Simaba guianensis* subesp. Ecaudata (Cronquist). **Química Nova**, v. 35, n. 11, p. 2153-2158, 2012.
- OLIVEIRA, P. S. et al. Ácidos fenólicos, flavonoides e atividade antioxidante em méis de *Melipona*

fasciculata, *M. flavolineata* (Apidae, Meliponini) e *Apis mellifera* (Apidae, Apini) da Amazônia. **Química Nova**, v. 35, p. 1728-1732, 2012.

PIRANI, J. R.; THOMAS, W. W. **Simaroubaceae in lista de espécies da flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/listaBrasil/>> Acessado em 15/05/2019.

SARAIVA, R. C. G. et al. Triterpenos e alcaloide tipo cantinona dos galhos de *Simaba polyphylla* (Cavalcante) W.W. Thomas (Simaroubaceae). **Química Nova**, v. 29, n. 2, pp. 264-268, 2006.

SILVA, E. R.; MAQUIAVELI, C. C.; MAGALHÃES, P. P. The leishmanicidal flavonols quercetin and quercitrin target *Leishmania (Leishmania) amazonensis* arginase. **Experimental Parasitology**, v. 130, n. 3, p. 183-188, 2012.

SILVA, H. R. et al. Constituintes químicos das cascas do caule de *Cenostigma macrophyllum*: Ocorrência de colesterol. **Química Nova**, v. 30, n. 8, p. 1877-1881, 2007.

SILVA JUNIOR, I. F. et al. Antimicrobial screening of some medicinal plants from Mato Grosso Cerrado. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v.19, n. 1B, 242-248, 2009.

SOUSA, C. M. M et al. Fenóis totais e atividade antioxidante de cinco plantas medicinais. **Química Nova**, v. 30, n. 2, 2007.

STÖCKLIN, W.; SILVA, L. B.; GEISSMAN, T. A. Constituents of *Holacantha emoryi*. **Phytochemistry**, v. 8, n. 8, p. 1565-1569, 1969.

WILHELM, K. P.; BIEL, S.; SIEGERS, C. P. Role of flavonoids in controlling the phototoxicity of *Hypericum perforatum* extracts. **Phytomedicine**, v. 8, n. 4, p. 306-309, 2001.

WU, J. Q.; KOSTEN, T. R.; ZHANG, X. Y. Free radicals, antioxidant defense systems, and schizophrenia. **Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry**, v. 46, p. 200-206, 2013.

YIN, Y. et al. Quercitrin protects skin from UVB-induced oxidative damage. **Toxicology and Applied Pharmacology**. v. 269, n. 2, p. 89-99, 2013.

ZHANG, Y. et al. Novel lipid-peroxidation-and cyclooxygenase-inhibitory tannins from *Picrorhiza kurroa* seeds. **Chemistry & Biodiversity**, v. 1, n. 3, 426-441, 2004.

DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS ALCALINAMENTE ATIVADOS PARA MITIGAÇÃO DA REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO: AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS, FÍSICAS E QUÍMICAS

Jocélio Jairo Vieira Filho

Universidade Federal da Paraíba, Centro de Engenharia de Energias Alternativas e Renováveis, João Pessoa – Paraíba

Kelly Cristiane Gomes

Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia de Energias Alternativas e Renováveis, João Pessoa – Paraíba

Williamns Tadeu de Oliveira Lins Belo

Universidade Federal da Paraíba, Centro de Engenharia de Energias Alternativas e Renováveis, João Pessoa – Paraíba

RESUMO: Na construção civil, há problemas estruturais que são enfrentados frequentemente, tais como descolamentos, fissuras, fraturas, problemas mecânicos e de durabilidade. Dentre eles, a fissura é um dos problemas mais constantes e que pode ter diversas causas, com destaque para a Reação Álcali Agregado (RAA). Esta reação é originária de um gel higroscópico oriundo da reação da sílica e álcalis disponíveis na estrutura do concreto em um ambiente aquoso. Assim, é formado um gel que expande quando em contato com umidade, gerando uma expansão volumétrica do material e, conseqüentemente, deformações na estrutura. Neste sentido, este trabalho avaliou o desempenho de Materiais Alcalinamente Ativado (MAA) frente à RAA

através da avaliação das suas propriedades mecânicas, físicas e químicas. Para tanto, foram confeccionadas barras prismáticas, de acordo com a norma da ABNT 15577-4, de argamassas de metacaulinita e pirex (ativados com três formulações de ativadores alcalinos – 100% silicato de sódio, 100% silicato de potássio e 50% de silicato de sódio + 50% de silicato de potássio), e de metacaulinita e dois tipos de britas (B1 e B2) ativadas com silicato de sódio e comparadas a uma argamassa de referência (Cimento Portland CPV-ARI com Pirex). Estas argamassas foram submetidas ao Ensaio de Expansão pelo Método Acelerado e após o processo foram analisadas suas propriedades mecânicas, mineralógicas e microestruturais. Para tanto, foram utilizadas técnicas de Resistência a Compressão Simples, Fluorescência de Raios-X, Difração de Raios-X, Ultrassom, Microscopia Eletrônica de Varredura. Ao final foi observado que o Material Alcalinamente Ativado com Silicato de Sódio apresentou potencial de agente mitigador da RAA.

PALAVRAS-CHAVE: Material Alcalinamente Ativado, Reação Álcali Agregado, Agente Mitigador.

DEVELOPMENT OF ALKALI ACTIVATED
MATERIALS FOR MITIGATING ALKALI

AGGREGATE REACTION: EVALUATION OF MECHANICAL, PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

ABSTRACT: In construction, there are structural problems, such as detachments, cracks, fractures, mechanical problems and durability. Among them, cracking is one constant problems and can have several causes, especially the Aggregate Alkali Reaction (AAR). This reaction originates from a hygroscopic gel derived from the reaction of silica and alkalis available in the concrete structure in an aqueous environment. Thus, a gel is formed which expands when in contact with humidity, generating a volumetric expansion of the material and, consequently, deformations in the structure. In this sense, this work evaluated the performance of Alkaline Activated Materials (AAM) against AAR by evaluating its mechanical, physical and chemical properties. Prismatic bars were made according to ABNT standard 15577-4, of metacaulinite and pyrex mortars (activated with three formulations of alkaline activators: 100% sodium silicate, 100% potassium silicate and 50% silicate of sodium + 50% of potassium silicate) and of metacaulinite and two types of brittle (B1 and B2) activated with sodium silicate and compared to a reference mortar (Portland cement CPV-ARI with Pirex). These mortars were submitted to the Expansion Test by the Accelerated Method and after the process their mechanical, mineralogical and microstructural properties were analyzed by techniques of Compressive Strength, X-Ray Fluorescence, X-Ray Diffraction, Ultrasound and Scanning Electron Microscopy. It was observed that the material activated with 100% sodium silicate presented potential of the AAR mitigating agent.

KEYWORDS: Alkali activated materials, Alkali aggregate reaction, Mitigating agent.

1 | INTRODUÇÃO

O concreto atualmente é considerado um dos materiais mais utilizados no mundo, principalmente no Brasil, pela abundância de insumos para a sua preparação, facilidade de manuseio, durabilidade, versatilidade e adaptabilidade às mais variadas formas geométricas e pelo baixo custo se comparado a outros materiais de construção. No entanto, a durabilidade das estruturas em concreto está diretamente ligada aos materiais, processos construtivos, às propriedades físicas e químicas, aos tipos de solicitações e às condições de exposição (MEHTA et al., 2008). Portanto, várias podem ser as formas que levam uma estrutura a apresentar algum tipo de patologia deletéria, que venha a fissurar os elementos estruturais e consequentemente comprometer a capacidade de absorção e dissipação de carga por parte desses elementos fissurados (DIAMOND, 1989; TAYLOR, 1997).

Os mecanismos que levam uma estrutura de concreto a apresentar um processo de fissuração são variados e podem ser iniciados ainda com o concreto no estado fresco, como o excesso de exsudação, secagem/dessecamento rápido, escoramento insuficiente, etc., o que levam ao aparecimento de fissuras na estrutura de concreto depois de curada. Já no estado endurecido o concreto pode

passar por fenômenos físico, térmicos, estruturais e químicos, como: retração por secagem, variações sazonais de temperatura, sobrecargas, corrosão de armaduras, formação de etringita/taumasita, reação álcali-agregado, etc., que também levam ao aparecimento de processos fissuratórios nas estruturas de concreto (CARMONA, 1998).

Desde a década de 1940, quando foi descoberta, a reação álcali-agregado (RAA) vem se tornando um tema cada vez mais recorrente nos estudos a respeito das manifestações patológicas nas estruturas de concreto, isso porque o registro de estruturas por ela afetadas aumentou consideravelmente nos últimos anos (TIECHER, 2006; 2007; 2010).

O estudo de RAA teve seu marco inicial em meados de 1940, quando Stanton identificou este processo como sendo uma reação deletéria que ocorria entre os constituintes do concreto, a sílica do agregado e os álcalis do cimento, o qual denominou reação álcali-agregado. Segundo constatações realizadas, a reação era capaz de formar eflorescências brancas, causando fissurações similares aquelas observadas em diversas estruturas afetadas na Califórnia, durante os anos 1920 a 1930 (STANTON, 1940).

Blanks e Meissner, em 1941, apresentaram um artigo sobre a deterioração da barragem Parker Dam pela RAA destacando que a presença, no agregado, de minerais reativos que reagem com os álcalis do cimento são as principais causas da RAA. Entretanto, influências externas como a umidade e temperatura são condicionantes importantes do processo deletério, de acordo com Hobbs (1988), Diamond (1989) e Taylor (1997).

Como resultado desta reação formam-se géis que na presença de umidade são capazes de expandir, gerando pressões e fissurações no concreto (PETERSON et al., 2000). Devido ao fato de a água ser um dos fatores determinantes da existência da RAA, as obras hidráulicas são as mais suscetíveis de apresentarem esse tipo de problema (LÉGER et al., 1995).

Neste sentido, é fundamental que sejam desenvolvidos estudos que visem investigar e mitigar esse problema. Desta forma, a proposição de novos materiais que sejam avaliados como potenciais mitigadores de tal reação, de forma a substituir, total ou parcialmente, o cimento convencional (Portland) é uma temática de pesquisa de extrema relevância.

2 | OBJETIVOS

O Objetivo deste trabalho é a avaliação do desempenho de materiais alcalinamente ativados frente à reação álcali-agregado através da avaliação de suas propriedades mecânicas, físicas e químicas.

Pode-se destacar como objetivos específicos do trabalho:

- Obtenção de materiais alcalinamente ativados a base de metacaulinita;
- Estudar o processo de mitigação da reação álcali agregado com o material alcalinamente ativado;
- Avaliação do desempenho mecânico e de durabilidade dos materiais alcalinamente ativados obtidos;
- Avaliação do tipo de agregado nas propriedades mecânicas, físicas e químicas dos materiais alcalinamente ativados obtidos;
- Avaliação do tipo de ativador alcalino nas propriedades mecânicas, físicas e químicas dos materiais alcalinamente ativados obtidos.

3 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A Reação Álcali Agregado é uma reação deletéria na qual aparecem o surgimento de fissuras na estrutura. O primeiro estudo documentado dessa reação foi em concretos na Califórnia (STANTON, 1940). Contudo, o processo que envolvia a RAA foi apenas estudado 3 anos após a sua descoberta. Após a sua documentação nos Estados Unidos estudiosos do mundo todo passaram a pesquisar em seus países e a encontrar casos semelhantes, instigando-os a investigar a natureza mineralógica dos agregados reativos associados a reação. As primeiras pesquisas sobre RAA começaram a surgir no Brasil no fim da década de 1980 com evidências de RAA em várias barragens brasileiras (VALDUGA, 2002).

Destaca-se que as principais causas de manifestação da RAA são a presença de minerais reativos que interagem com os álcalis do cimento, além de condições externas como temperatura e umidade terem participação ativa no processo deletério (TAYLOR, 1997).

No Brasil foram encontrados mais de 20 casos de barragens afetadas por tal patologia (HASPARYK; CARASEK; MONTEIRO, 2001). Em vários estudos observou-se que barragens, pavimentos de concreto, blocos de fundação e eventuais elementos de concreto (vigas, pilares, lajes, etc.), são mais suscetíveis ao desenvolvimento do RAA devido as suas condições de exposição.

O efeito danoso mais comum originado da RAA são processos de fissuração do tipo “mapa”, exsudação de gel na superfície do concreto, nas bordas ou em volta dos agregados (TAYLOR, 1997). O dano do concreto por RAA pode ocorrer por três formas, em função do tipo de mineralogia do agregado reativo envolvido, como: reação álcali-sílica (RAS), reação álcali-carbonato e reação álcali-silicato (POOLE, 1992).

A presença dos álcalis, dos componentes dos concretos, provém do processo de calcinação do clínquer do cimento. Neste processo conduzido a altas temperaturas, os íons K^+ e Na^+ são vaporizados e, após isso, quando o clínquer é transportado lentamente através do forno, eles se condensam sobre o mesmo, gerando uma

camada superficial de álcalis. Enquanto alguns álcalis permanecem na superfície do clínquer e são disponibilizados mais rapidamente, outros se localizam no interior da sua estrutura e tornam-se disponíveis com o decorrer do processo de hidratação (PETERSON et. al., 2000).

3.1 Fatores que influenciam a RAA

A micromecânica da RAA é controlada por processos termodinâmicos e cinéticos, mas até o momento ainda não estão bem definidos todos os aspectos do processo. Para explicar a formação do gel, por exemplo, existem duas linhas de pensamento distintas. Na primeira a formação do gel é modelada como um processo topoquímico, que é aquele no qual o local onde a reação se processa é fixado pelas mesmas condições de seu progresso, ocorrendo dessa forma, na interface agregado-cimento. A segunda linha de pensamento sugere a possibilidade do transporte iônico através da solução porosa, de forma que o gel possa se formar em qualquer lugar (PETERSON et. al., 2000).

Apesar de discordarem em aspectos importantes a respeito da química da reação, as duas linhas concordam em pontos fundamentais, relacionados à evolução da reação. Dessa forma, tem-se como bem estabelecida a sensibilidade da reação à temperatura, que tem um efeito basicamente cinético, acelerando a reação, mas não afetando significativamente a sua amplitude. Outro ponto de concordância é o fato de que a reação é limitada pela quantidade de reagentes e não de produto, o que significa que a reação perdurará enquanto houver reagentes, independentemente da quantidade de gel produzida. Da mesma forma sabe-se que a umidade é essencial para a ocorrência da reação, podendo influenciar na magnitude da mesma (PETERSON et. al., 2000). Um aspecto que tem gerado controvérsia é a influência de carregamentos externos na reação álcali-sílica.

a) Temperatura

A temperatura funciona como um catalisador da RAA, onde temperaturas elevadas aceleram as reações nas estruturas de concreto, causando um aumento nas expansões, devido o gel torna-se menos viscoso e ter mais facilidade de percolar pelos vazios do concreto (PAULON, 1981; HASPARK, 1999; VALDUGA, 2002).

As altas temperaturas também aceleram a hidratação do cimento e intensificam a agressividade das soluções alcalinas, levando ao surgimento da RAA mais rapidamente (KIHARA, 1986). Além da temperatura ambiente, a temperatura de cura também influencia na RAA. Swamy e Al-Alasi (1988) verificaram que os concretos curados a 38°C apresentaram considerável redução da resistência à compressão com o passar de um ano, além de apresentarem expansão e fissuração bastante severas. As amostras curadas a 20°C mostraram poucas evidências de deterioração e aumento contínuo da resistência à compressão.

b) Umidade

O processo de expansão do gel de RAA é desencadeado em função da

presença da umidade no concreto. Estruturas com sistema de drenagem deficiente, obras hidráulicas como barragens e concreto em contato com terrenos úmidos, são mais susceptíveis à reação álcali-agregado.

Autores afirmam que a umidade relativa necessária para ocorrer a RAA em um elemento de concreto deve ser superior a 80%, ocasionando expansão, embora o gel possa ser formado em umidades mais baixas (KIHARA, 1986). Os resultados apresentados por Larive (1997), evidenciam que a exposição do concreto reativo a condições de umidade elevada só provoca a expansão enquanto a reação ainda estiver em andamento. Portanto, a influência da água sobre a amplitude das deformações é limitada pelo processo de formação dos produtos da reação.

c) Tensão no concreto

Restrições e tensões nas estruturas de concreto vem sendo estudadas como fatores que influenciam as expansões e os danos devidos à RAA. Alguns autores (HOBBS, 1988; SILVEIRA, 2007) avaliaram a distribuição de tensões em estruturas de concreto e observaram que tensões de compressão bem distribuídas podem reduzir a expansão e as fissuras na direção da compressão e, ainda, avaliaram as taxas de expansão em barragem de arco e observaram que as mesmas são menores que nas estruturas de gravidade, isso devido às tensões confinantes. Segundo pesquisa de Hobbs (1988), a qual avaliou a influência da tensão de compressão na RAA, através da mensuração da expansão de barras de argamassa submetidas a diversos carregamentos, a tensão de compressão retarda a fissuração e reduz a expansão na direção do carregamento.

Já Larive (1997), desenvolveu um extenso programa experimental para análise do comportamento do concreto reativo, no qual a autora procura estabelecer um paralelo entre os efeitos macroscópicos e as causas microscópicas da reação álcali-agregado. Neste estudo foi observado que em corpos de prova sujeitos a carregamento uniaxial o estado de tensão do material não influencia a evolução do processo químico. Além da expansão livre, a autora, submeteu os corpos de prova a três valores de tensão uniaxial: 5 MPa, 10 MPa e 20 MPa. Para avaliar o efeito do carregamento sobre a expansão química, as deformações dos corpos de prova inertes, submetidos ao mesmo carregamento, foram subtraídas das deformações totais dos corpos de prova reativos, obtendo-se curvas da parcela de deformação química ao longo do tempo.

Neste sentido, os estudos da influência do estado de tensões externas impostas às estruturas de concretos, sobre a expansão química, ainda é um aspecto bastante controverso no estudo da reação álcali-agregado.

3.2 MAA e Ativação Alcalina

Os Materiais Alcalinamente Ativados, ou MAA, têm a formação de uma fase gel de aluminossilicato diferentemente do Cimento Portland, que é um aglomerante

predominantemente baseado em reações de hidratação de óxidos com o surgimento de fases cristalinas diferentes. Atualmente, os MAA's são produzidos com uma diversidade de materiais aluminosilicosos e múltiplos tipos de ativadores alcalinos, o que permite sua aplicação nas mais diversas áreas de atuação, devido, grandemente, as suas boas propriedades termomecânicas com valores de resistências mecânicas na ordem de 60 a 100 MPa e estabilidade térmica entre 1000 a 1200 °C.

No referente à ligação de estruturas químicas, a estrutura dos MAA's é semelhante à de polímeros orgânicos. Nos polímeros tradicionais as estruturas são normalmente formadas de cadeias carbônicas, à medida que, nos materiais alcalinamente ativados as cadeias são formadas por tetraedros ligados alternadamente de AlO_4 e SiO_4 (DAVIDOVITS, 1987; PALOMO et al., 1999).

A síntese destes materiais implica processos de solidificação com mecanismos altamente estudados, onde cada iniciador necessita de um estudo aplicado sobre seus mecanismos com as variantes de razões molares dos ativadores, da temperatura de síntese e da energia de mistura (PALOMO et al., 1999). O mecanismo de reação pode ser observado na Figura 1, que apresenta de uma maneira simplificada, os principais processos que ocorrem na síntese de um MAA.

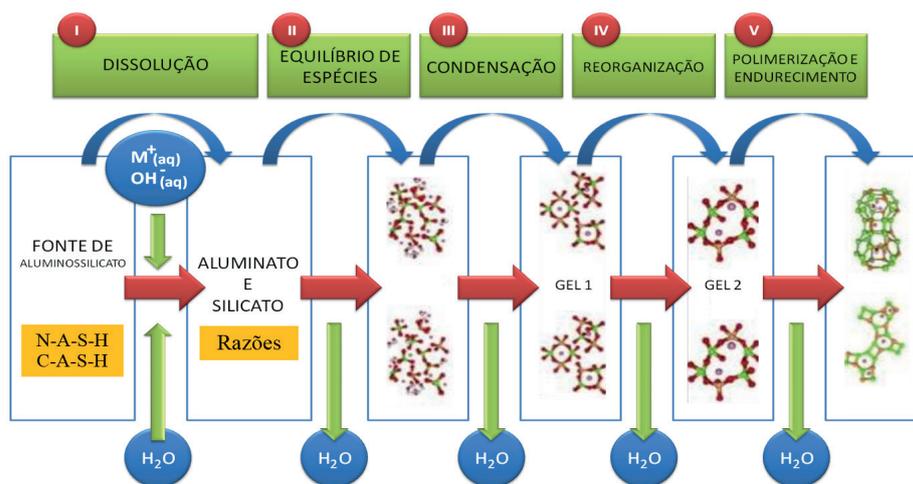


Figura 1: Modelo Conceitual para Síntese de Material alcalinamente ativados. Adaptado de Duxson (2006).

O processo de síntese pode ser simplificado ao determinar as proporções ótimas de cada sistema. Sais alcalinos, por exemplo KOH e NaOH, na sua síntese, podem atuar como catalizadores junto com silicatos dos materiais aluminosilicosos à temperatura de processamento, geralmente menor que $100^\circ C$, o que os colocam como uma boa alternativa, do ponto de vista da matriz energética, na produção de materiais cimentícios.

A ativação alcalina é uma reação de hidratação de aluminossilicatos com substâncias do tipo alcalino e alcalino-terroso, como: Hidróxidos (R_2CO_3 , $R(OH)_2$) e sais de ácidos fortes (R_2CO_3 , R_2S , RF) ou fracos (Na_2SO_4 , $CaSO_4 \cdot 2H_2O$), onde R

pode ser um íon Na^+ , K^+ , Li^+ e o Ca^{2+} (PUERTAS, 1995).

Para melhorar os resultados, deve-se realizar sobre os aluminossilicatos um tratamento térmico envolvendo a perda de água e alterações na coordenação do íon de alumínio com o oxigênio. Com isso, o material tem grande parte de sua estrutura cristalina perdida, resultando num estado praticamente amorfo, de alta entropia, que resulta em uma grande tendência de combinar-se quimicamente (CHANG, 1994).

O endurecimento dos ligantes ativados alcalinamente ainda não tem seu mecanismo completamente conhecido, mas supõe que seja dependente da sua matéria-prima e do seu ativador alcalino. O mecanismo da reação alcalina é formado por reações conjugadas de destruição e imobilização, que resulta na destruição da matéria prima em unidades estruturais estáveis. Os primeiros passos acontecem com a desagregação das ligações covalentes $\text{Si} - \text{O} - \text{Si}$, consequência do aumento do pH da solução alcalina. Depois, ocorre a acumulação dos produtos degradados, que interagem entre si e formam um coagulado, que origina uma terceira fase para gerar uma estrutura de condensados.

Uma das principais diferenças entre os ligantes do cimento Portland comum e os ativados alcalinamente é que, no cimento é utilizado água com pH neutro. Já nos ligantes álcali-ativados, as soluções com alta alcalinidade são necessárias para dar início ao processo de dissolução.

No tocante a aplicação de geopolímeros, os mesmos podem ser classificados em três tipos de utilização básica: Cimento Geopolimérico (MIRANDA et al., 2005; FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ et al., 2006; FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ e PALOMO, 2007), Imobilização de Resíduos Sólidos e Tóxicos (PALOMO e PALACIOS, 2003; VAN JAARSVELD et al., 1997, 1998 e 1999a) e Recuperação Estrutural (HU et al., 2008; PACHECO-TORGAL et al., 2008; THAUMATURGO et al., 1999).

Quando avaliados a influência do MAA e sua aplicação como agente mitigador da RAA, estudos como o de Garcia-Lodeiro et al. (2007), Patil e Allouche (2011), Duyou Lu et al. (2013) e Muhd e Siti (2014), confirmaram os bons resultados obtidos para o MAA, quando comparados aos concretos tradicionais a base de cimento Portland. Contudo, nestes estudos foram avaliadas as cinzas volantes como matéria prima precursora do MAA.

4 | MATERIAIS E MÉTODOS

Para alcançar os objetivos da pesquisa foi realizado o planejamento experimental apresentado na Figura 2.

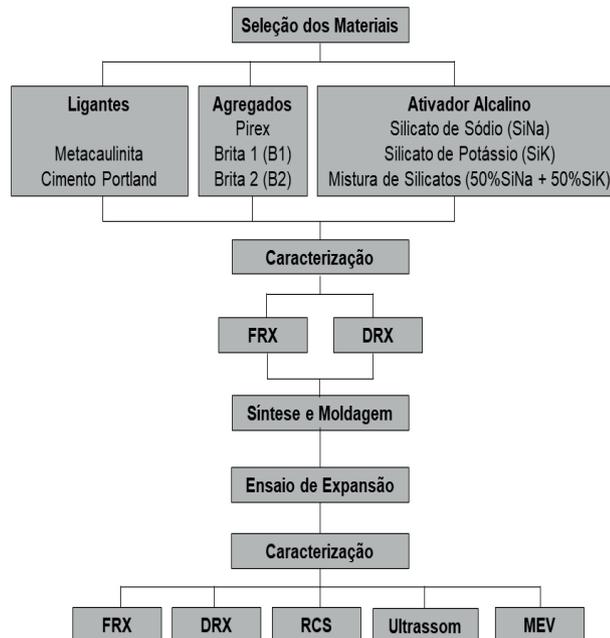


Figura 2: Planejamento Experimental

4.1 Materiais

A metacaulinita utilizada neste trabalho foi oriunda de um caulim, fornecido pela Caulisa SA, calcinado a 700°C/2h. O cimento utilizado como fonte de referência foi o CPV-ARI. O pirex, utilizado como agregado reativo, foi submetido a moagem de baixa energia e utilizados em granulometrias diferentes, de acordo com a ABNT NBR 15577-4. Os agregados não reativos de origem granítica foram provenientes de duas jazidas de britas localizados no Estado de Pernambuco, sendo a B1 a brita da jazida 1 (lat.: 8°22'22,8"S e long.: 35°3'57,6"O) e a B2 a brita da jazida 2 (lat.: 8°7'3"S e long.: 35°13'42"O). As britas foram submetidas a processos de moagem, igual ao pirex, até obter um material com granulometria de acordo com a ABNT NBR 15577-4

O silicato de sódio foi fornecido pela Pernambuco Química S/A com um módulo de sílica (relação $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$, em massa) igual a 2,17 e pH em torno de 13. O silicato de potássio foi oriundo da Diatom S/A com módulo de sílica (relação $\text{SiO}_2/\text{K}_2\text{O}$) igual a 2,15 e pH em torno de 13. O hidróxido de sódio foi fornecido pela VETEC com grau de pureza de 99%, sendo utilizado para a obtenção da solução alcalina a ser utilizada no ensaio de expansão acelerado. Foi preparado uma solução de NaOH a 1M de acordo com o recomendado na norma ABNT NBR 15577-4. A água utilizada foi do tipo destilada.

4.2 Caracterização dos Materiais

Para a realização da análise das matérias primas, as amostras dos ligantes e dos agregados foram moídos, peneirados numa malha de 350 mesh e secos em estufa a 100°C/1h. Os materiais foram então submetidos a análise química via Fluorescência de Raios X (FRX) realizada no equipamento Sequential X-ray

Fluorescence Spectrometer, Modelo XRF-1800 da Shimadzu, operando no vácuo e na metodologia do pó. O acesso a mineralogia foi obtido via análises de Difração de Raios-X (DRX) realizadas no equipamento D2 Phaser Bruker, operando com radiação K α de cobre, 30kv e 10 mA, com varredura de 2θ entre 5° e 60° com passo de 0,02°/s.

Para os produtos obtidos na pesquisa, foram realizadas análises químicas e mineralógicas, de modo semelhante aos utilizados na caracterização das materiais primas. Já o acesso as propriedades mecânicas se deram pelo ensaio de resistência à compressão indicado na NBR 7215, conduzidos em um equipamento de ensaios universais da Contenco i-3058 380 V 027. Foram utilizadas amostras cúbicas, com as dimensões: 25x25 (mm). Para avaliar a integridade dos materiais produzidos foi realizada a análise de ultrassom utilizando o equipamento PUNDIT PL-200 de 54 kHz, fabricado pela PROCEQ.

4.3 Preparação das barras prismáticas e ensaios aplicados

Para o desenvolvimento desta pesquisa foram confeccionadas barras prismáticas, de acordo com a norma da ABNT NBR 15577-4, de argamassas de metacaulinita e pirex (ativados com três formulações de ativadores alcalinos – 100% silicato de sódio, 100% silicato de potássio e 50% de silicato de sódio + 50% de silicato de potássio), e de metacaulinita e dois tipos de britas (Brita 1 e Brita 2) ativadas com silicato de sódio e comparadas a uma argamassa de referência (Cimento Portland CPV-ARI com Pirex). Em seguida, foram moldados os corpos de prova nas formas previamente separadas em duas camadas, com 20 golpes entre elas (para evitar a formação de bolhas). Após 24h o material foi desmoldado e seguido o roteiro preconizado na ABNT NBR 15577-4

De todas as formulações realizadas, os únicos CP`s que conseguiram resistir ao processo de moldagem/desmoldagem e ficaram aptos para o ensaio de expansão foram as barras produzidas com metacaulinita, pirex e silicato de sódio, bem como as barras a base de cimento Portland e pirex. Estes foram submetidos ao Ensaio de Expansão pelo Método Acelerado. Tal resultado pode estar relacionado a possíveis interação dos materiais componentes da argamassa e os respectivos traços utilizados em sua preparação, ou ainda por não terem polimerizado o suficiente para a formação do material alcalinamente ativado, ou ainda devido a problemas durante o processo de mistura (velocidade, temperatura, etc.).

Após a submissão ao Ensaio de Expansão pelo Método Acelerado, as amostras aptas foram analisadas acessando suas propriedades mecânicas, mineralógicas e microestruturais.

5 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Caracterização Química e Mineralógica das Matérias primas

Na Tabela 1 são evidenciados os óxidos mais estáveis de cada material utilizado na pesquisa.

%	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	CaO	TiO ₂	MgO	SO ₃	Outros
MK	62,96	34,61	1,34	0,63	0,07	0,05	0,03	0,12	0,00	0,19
Cimento	20,91	1,94	0,84	2,42	0,51	63,94	0,26	3,62	5,18	0,38
Pirex	74,77	3,32	0,43	0,15	10,05	8,45	0,00	2,56	0,26	0,01
B1	66,75	16,11	4,88	3,95	2,48	2,83	0,96	0,96	0,07	1,01
B2	71,89	16,01	4,69	1,65	3,12	1,74	0,00	0,60	0,11	0,19

Tabela 1: Composição Química dos precursores utilizados na pesquisa.

Pode-se observar pela Tabela 1 que todos os materiais precursores são fontes representativas de sílica, com exceção do cimento, cujo constituinte majoritário é o óxido de cálcio. O pirex além de apresentar um grande índice de SiO₂, possui os teores mais elevados de Na₂O, comparados aos demais precursores, mostrando ser um material rico em álcalis, o que pode influenciar no surgimento acelerado da RAA nesta pesquisa.

Para produzir o material alcalinamente ativado, foi utilizado Metacaulim, com uma grande quantidade de SiO₂, e o pirex, que contém uma quantidade percentual ainda maior, fora adicionado silicato de sódio e/ou potássio como álcali reativo. O cimento, apesar de conter apenas 20,91% de óxido de silício, foi adicionado o pirex, aumentando esta concentração. Isto é, condições perfeitas para manifestação da Reação Álcali-Agregado. Ambos materiais foram colocados na presença de soluções de hidróxido de sódio para promover a RAA com o objetivo de avaliar se o material alcalinamente ativado apresentaria potencial para atuar como agente mitigador da reação.

As Figuras 3 a 6 apresentam os difratogramas das matérias-primas utilizadas nessa pesquisa.

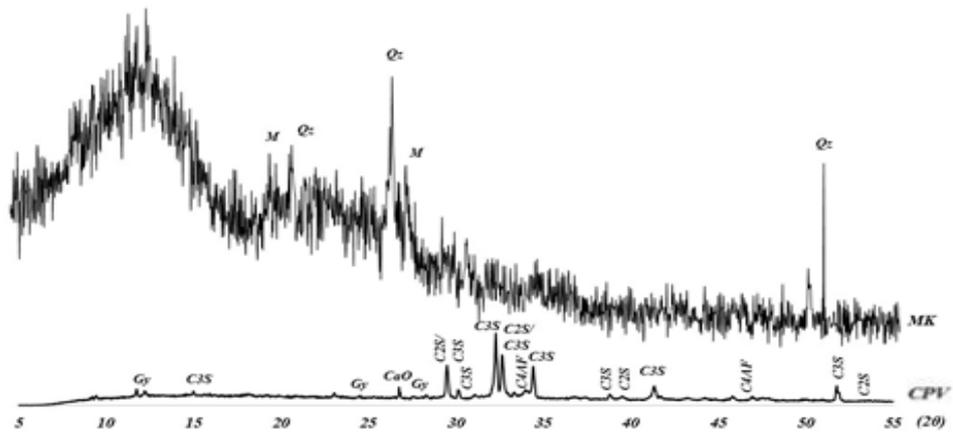


Figura 3: Difratoograma dos ligantes Metacaulinita (MK) e do Cimento (CPV).

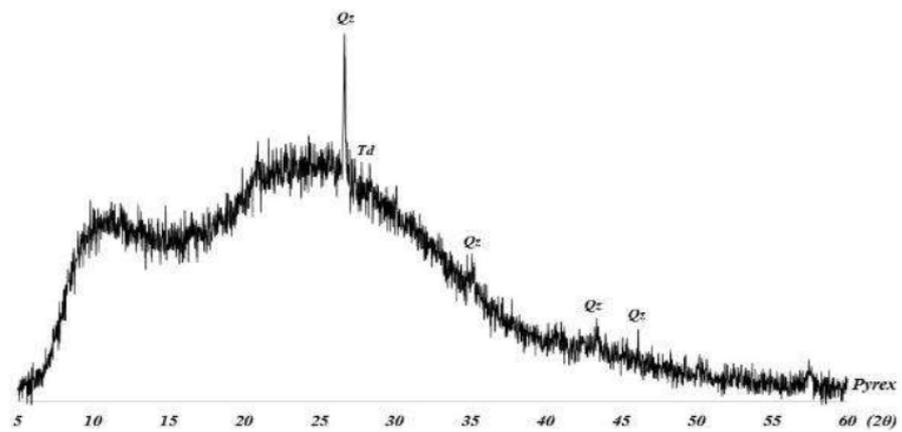


Figura 4: Difratoograma do Agregado reativo Pyrex.

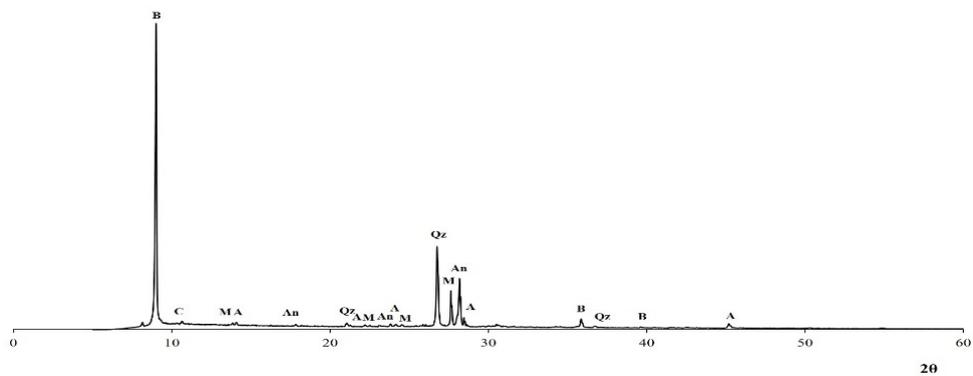


Figura 5: Difratoograma da amostra da Brita 1.

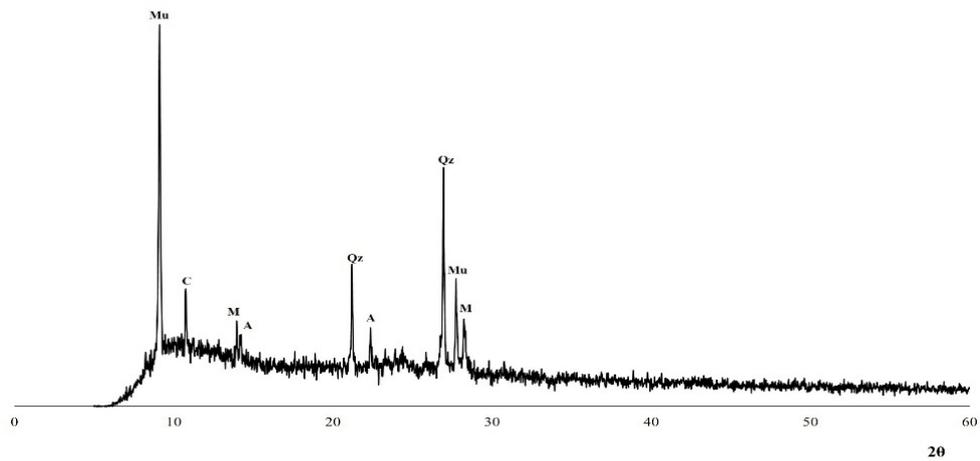


Figura 6: Difratograma da amostra da Brita 2.

Pela Figura 3 é possível observar que a metacaulinita é um material amorfo apresentando baixa cristalinidade na estrutura do material, sendo assim, um material muito reativo. A Metacaulinita é constituída basicamente de quartzo (Qz) e mica (M). Já a amostra de cimento apresenta alto grau de cristalinidade, sendo composto basicamente pelas fases belita, alita, óxido de cálcio, gesso e outros minerais minoritários. Observando o difratograma da Figura 4, referente ao Pirex, pode-se observar que o mesmo é um agregado amorfo de alta reatividade, sendo composto basicamente de quartzo (Qz) e tridimina (Td).

Pelo difratograma apresentado na Figura 5, pode-se observar o grau de cristalinidade da Brita B1, e que a mesma é composta basicamente por albita (A), arnodita (An), cordierita (C), quartzo (Q), biotita (B) e microlina (M), sendo o pico da biotita o de maior intensidade. Observando o difratograma da Brita B2 (Figura 6) é possível observar que a mesma apresenta um grau de cristalinidade menor quando comparada à Brita B1, e que a mesma é composta por albita (A), cordierita (C), quartzo (Q), microlina (M) e muscovita (Mu), tendo este último apresentado pico de maior intensidade. Observa-se, ainda, que o pico do quartzo é mais evidente neste tipo de brita quando comparado com a Brita B1.

Observa-se que a principal diferença entre as britas é o tipo de mica presente nelas. Enquanto a Brita B1 por ser oriunda de uma rocha do tipo granodiorite segundo a classificação TAS, apresenta a mica do tipo biotita (mica piroxênica ou magnesianana segundo Paterson et. al. 1989), a Brita B2 por ser oriunda de uma rocha do tipo granito segundo a classificação TAS, apresenta uma mica do tipo muscovita (mica potássica que se enquadra em uma das espécies de micas graníticas segundo Paterson et. al. 1989). É possível observar, ainda, que a Brita B2 apresenta um grau de cristalinidade menor quando comparada à Brita B1, visível pelo halo formado entre 5° e 30°.

5.2 Caracterização Química e Mineralógica dos materiais produzidos

A Tabela 2 apresenta a composição química das Barras produzidas nessa pesquisa.

%	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	CaO	TiO ₂	MgO	SO ₃	Outros
MK.P.SiNa	66,09	6,84	0,26	0,31	16,11	7,54	0,06	2,54	0,19	0,06
MK.P.SiK	72,02	10,26	2,24	0,22	7,61	5,38	0,03	1,94	0,21	0,09
MK.P.SiNa+SiK	71,50	9,59	1,20	0,22	9,73	5,46	0,03	1,90	0,19	0,18
MK.B1.SiNa	70,01	13,1	2,31	2,84	6,64	2,82	0,50	0,97	0,11	0,70
MK.B2.SiNa	57,54	11,89	2,58	1,27	24,56	1,15	0,16	0,51	0,06	0,28
CPV-ARI.P	52,30	1,79	0,29	1,76	8,04	31,09	0,15	2,69	1,53	0,36

Tabela 2: Composição Química dos materiais produzidos.

O MAA apresentou uma predominância, já esperada, de SiO₂, onde o menor teor foi observado para o MAA a base da Brita B2 na ordem de 58%, o que difere do observado para o seu respectivo precursor. O Na₂O também apareceu com grande quantidade em sua composição (Brita B2), o que evidencia que nesta amostra ocorreu uma incorporação acentuada do álcali sódio oriundo da solução de NaOH 1M.

Observando os resultados do material cimentício a base de CPV constata-se que o mesmo apresentou um aumento do teor de sílica em sua composição quando comparado a cada precursor separadamente. Deve-se levar em consideração que a RAA é oriunda do aumento da presença de SiO₂ que ficou disponível para originar a reação. A presença relevante de Na₂O pode ter sido potencializada através da solução de NaOH em que as barras prismáticas foram submetidas devido ao ensaio de expansão pelo método acelerado.

Avaliando o álcali Potássio é possível observar uma maior concentração nas amostras sintetizadas com silicato de potássio, como esperado, bem como nas amostras com a utilização dos agregados graníticos, o que evidencia a contribuição desses agregados com relação ao teor de álcalis disponíveis.

As Figuras 7 a 9 apresentam os difratogramas das barras produzidas nessa pesquisa.

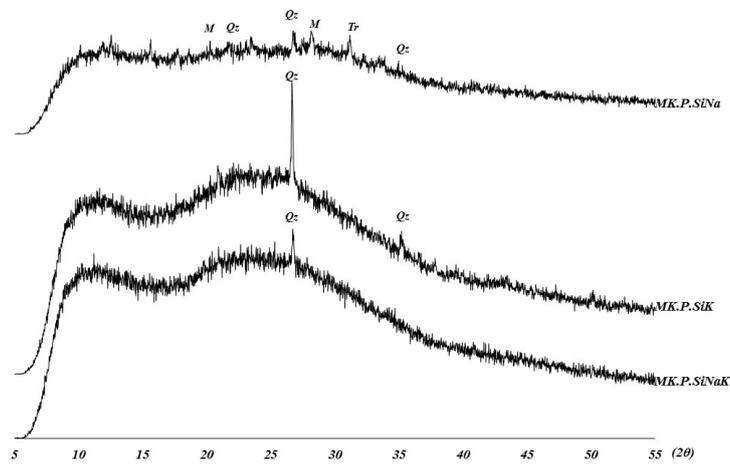


Figura 7: Difratomogramas das barras de MAA a base de Pirex e silicatos de Sódio (MK.P.SiNa), de Potássio (MK.P.SiK) e de Sódio + Potássio (MK.P.SiNaK).

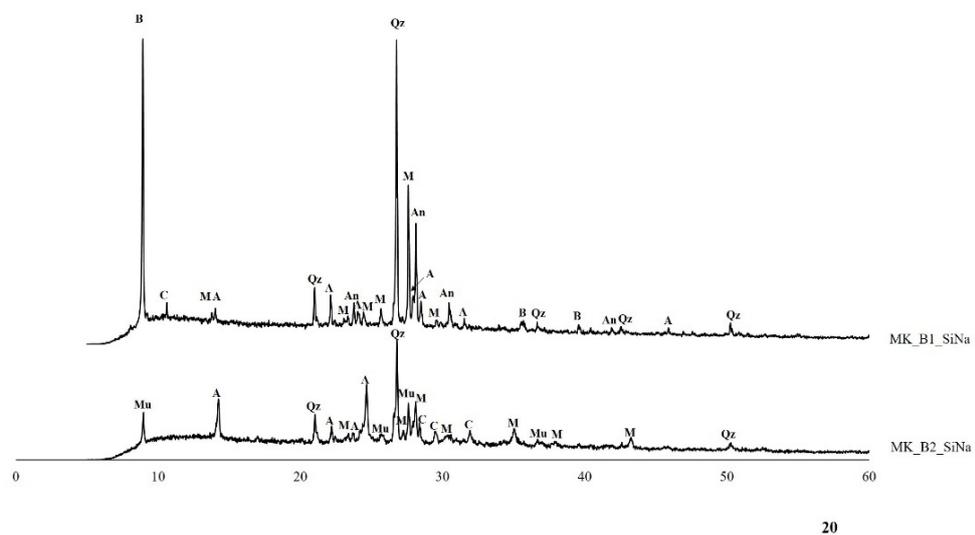


Figura 8: Difratomogramas das barras de MAA a base das Britas B1 (MK.B1.SiNa) e B2 (MK.B2.SiNa).

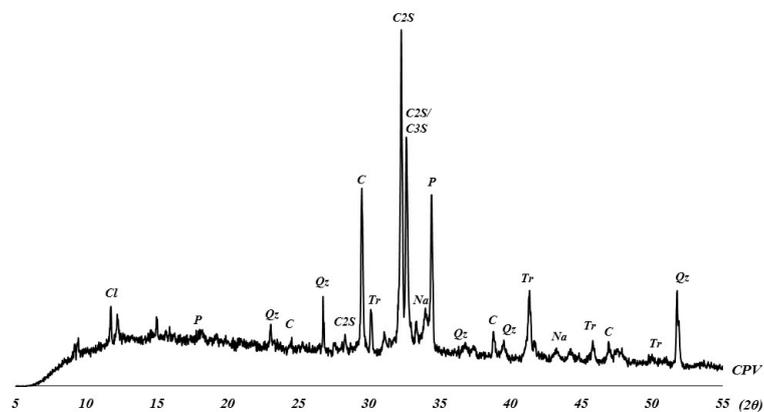


Figura 9: Difratomogramas das barras de CPV com Pirex

Pelas Figuras 7 a 9 pode-se observar os padrões de difração das barras

oriundas de MK e Pirex, MK e Britas e a base de CPV. Pode-se observar que não houve degradação da estrutura cristalina, quando comparadas às estruturas dos agregado empregados na elaboração dessas barras.

Pela Figura 7 pode-se observar que os minerais constituintes de todos os sistemas de MK e Pirex (ativados com silicato de sódio, com silicato de potássio e com a mistura de silicatos de sódio e potássio) são oriundas das mesmas fases cristalinas de seus precursores, com exceção do sistema ativado com silicato de sódio que apresentou uma fase de carbonato trona (Tr).

Quando avaliados os sistemas de Metacaulinita com Britas (Figura 8) verifica-se o mesmo padrão, ou seja, as fases cristalinas são oriundas dos materiais precursores, como quartzo (SiO_2), Albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), Microclina (KAlSi_3O_8) e Cordierite ($(\text{Mg,Fe})_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_8$) em ambas as britas e Anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) e Biotita ($\text{K}(\text{MgFe})_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$), na Brita B1 e Muscovita ($\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$) na Brita B2.

De modo geral, pode-se observar, analisando a Figura 8, que não houve consumo do tipo de mica presente em cada tipo de brita, bem como da sílica presente, mostrando que possivelmente não ocorreu a RAA em níveis expressivos, apontando o aprisionamento dos álcalis na matriz do MAA, mitigando a RAA.

Os resultados do difratograma das barras a base de cimento Portland (Figura 9) apresentam que as mesmas são constituídas basicamente de quartzo, alita, belita, portlandita, calcita, conforme seu material precursor. É possível observar, ainda, fases de carbonatos (Tr:Trona e Na:Natron) oriundas da exposição ao ambiente ao qual ficou exposto (solução alcalina de NaOH 1M do ensaio de expansão pelo método acelerado). Isto pode ser uma evidência da disponibilidade de álcalis na matriz que possibilitou a formação de carbonatos e que poderiam estar também disponíveis para a formação da RAA.

5.3 Resultados da Expansão pelo Método Acelerado

Apenas as amostras de MAA (ativado com 100%SiNa) e CP a base de pirex apresentaram condições de serem submetidas ao ensaio de expansão. A hipótese é que não ocorreu a polimerização adequada com os materiais alcalinamente ativados e os agregados não reativos (britas 1 e 2), bem como os MAA com silicato de potássio e com a mistura de silicatos (50%SiNa + 50%SiK), o que acarretou na quebra das barras prismáticas no processo de desmoldagem como pode ser observado nas Figura 10 e 411

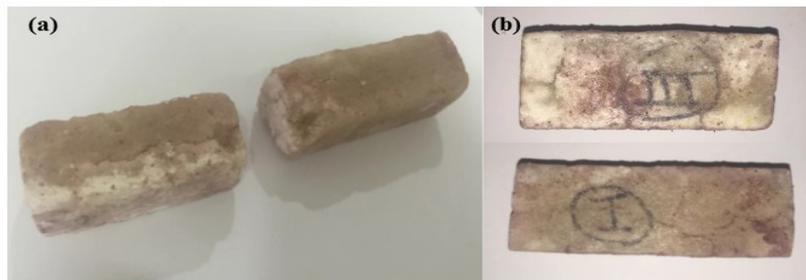


Figura 10: Barras de MAA a base de agregados graníticos, (a) Brita 1 e (b) Brita 2.



Figura 11: Barras de MK.P.SK (metacaulinita, pirex e silicato de potássio) e de MK.P.SKNa (metacaulinita, pirex e silicato de potássio+silicato de sódio).

Os resultados do ensaio de expansão pelo método acelerado podem ser observados, também, no gráfico apresentado na Figura 12.

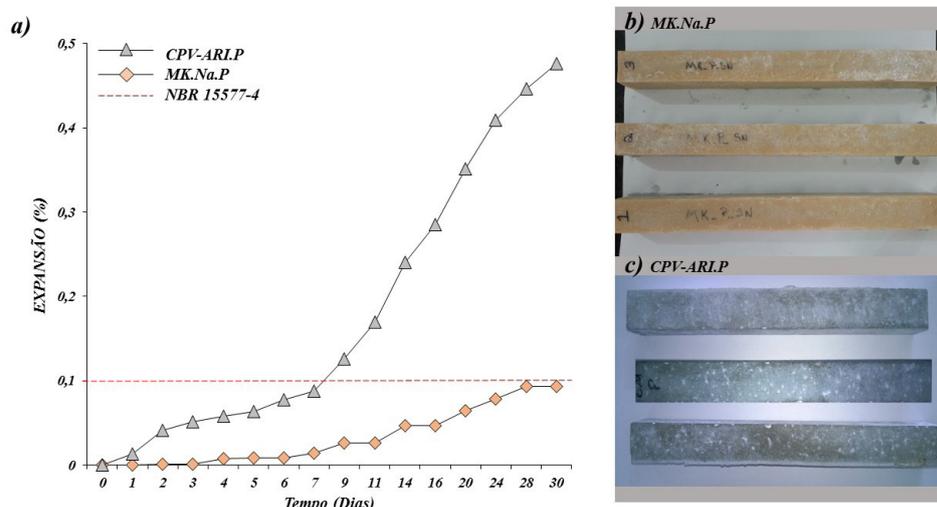


Figura 12: (a) Curvas de Expansão com o tempo de argamassas de CPV-ARI.P e MK.Na.P, (b) Barras de MK.Na.P aos 30 dias após submissão ao ensaio, (c) Barras de CPV-ARI.P aos 30 dias após submissão ao ensaio. Fonte: (GOMES et al., 2016).

Pela Figura 12 é possível observar que comparando as barras prismáticas a base de cimento Portland com as barras de MAA, as primeiras (CPV-ARI.P) apresentaram maior expansão em comparação com as segundas (MK.Na.P). É possível observar que depois de apenas 7 dias de imersão em solução de NaOH 1 M a 80°C, as barras de CPV-ARI.P tinha expandido mais do que o limite permitido na norma NBR 15577-4 (0,1%).

Após 30 dias (ver Figura 5b e 5c), pode ser visto ao longo de toda a superfície da amostra a interação da matriz com o agregado reativo pirex. Observa-se uma maior interação com a matriz de MAA, enquanto que com a base de argamassa de Cimento Portland, eles estão na superfície do material, apresentando um descolamento da matriz. A Figura 5b mostra que as amostras do sistema metacaulinita estavam em perfeitas condições após 30 dias de exposição, sem apresentar fissuras superficiais e que não excedeu as disposições da norma NBR 15577-4.

5.4 Ultrassom

Os resultados do ensaio de ultrassom podem ser observados pelos gráficos apresentados nas Figuras 13 e 14.

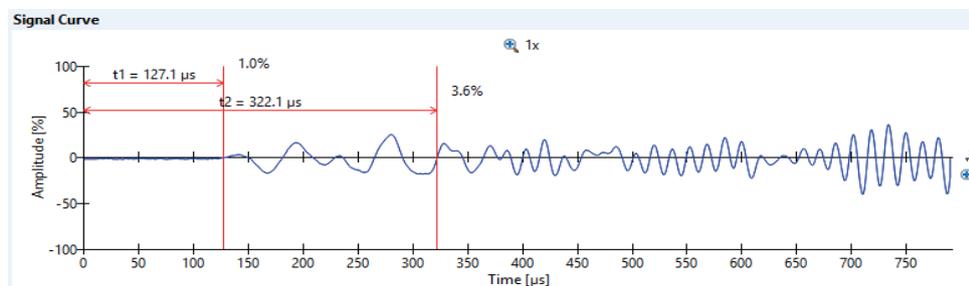


Figura 13: Gráfico da análise em ultrassom das Barras Prismáticas a base de Material Alcalinamente Ativado (MK.Na.P).

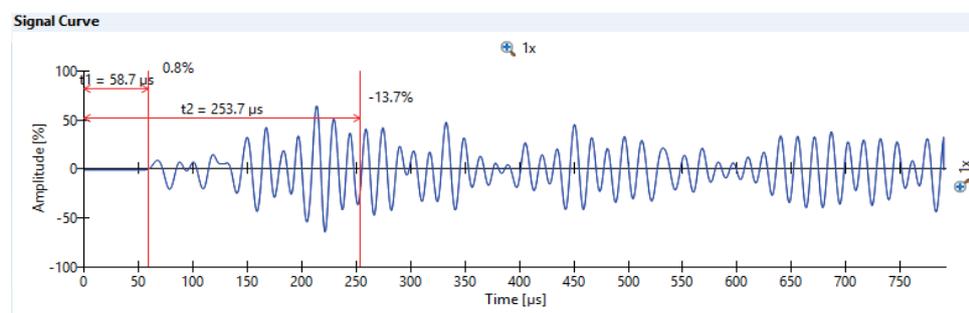


Figura 14: Gráfico da análise em ultrassom das Barras Prismáticas a base de Cimento Portland (CPV-ARI.P).

Pode observar pelos gráficos apresentados nas Figuras 13 e 14 que as barras prismáticas a base do material alcalinamente ativado (MK.Na.P) apresentou uma

menor amplitude em relação ao gráfico do material a base de cimento Portland (CPV-ARI.P). Isto pode ser uma evidência de que sua estrutura interna foi pouco danificada. Esses resultados, em junção com o ensaio de expansão, servem de indícios da possível ausência da RAA nas barras de MAA.

Quando avaliado as amostras a base de cimento Portland (Figura 14), observou-se pelos resultados do ensaio de ultrassom, que as mesmas possuem em seu interior um número maior de falhas, quando comparadas as amostras de MAA. Isto, juntamente com os resultados de expansão, é um indicativo de que o material CPV-ARI.P pode ter apresentado a patologia de RAA. Tal hipótese relaciona-se aos vazios na estrutura devido ao esfarelamento da mesma, da presença de fissuras no material, bem como ao descolamento das pérolas de pirex que se desprendiam da matriz e que foram observados na microscopia eletrônica de varredura.

5.5 Resistência à Compressão Simples (RCS)

As Figuras 15 e 16 apresentam os CP's dos materiais produzidos (CPV-ARI.P e MK.Na.P) antes do ensaio de resistência e os resultados do teste de resistência a compressão das barras após submissão por 30 dias ao ensaio de expansão pelo método acelerado.



Figura 15: Cubos utilizados nos testes de resistência a compressão.

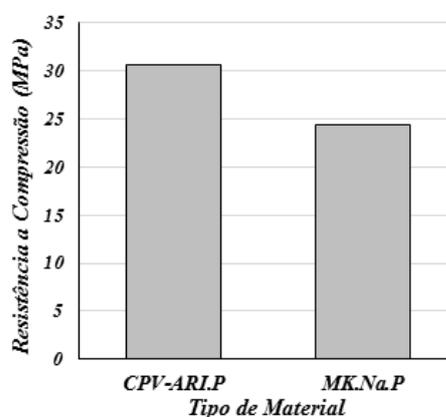


Figura 16: Resultados do teste de Resistência a Compressão.

No teste de resistência a compressão, ambos os materiais apresentaram

bons resultados de resistência, mesmo após submissão por trinta dias ao ensaio de expansão pelo método acelerado. É possível observar que o material cimentício a base de cimento Portland apresentou resistências ligeiramente mais elevadas quando comparadas ao material alcalinamente ativado. Os resultados para a baixa resistência dos MAA's (inferiores a 40 MPa) pode estar relacionada em falhas no processo de preparação do material (mistura manual), visto estes materiais serem susceptíveis ao processo de mistura, bem como a temperatura de síntese e a razões molares utilizadas na síntese do material, visto a mesma ter seguido o preconizado na ABNT NBR 15577-4, e não a razões molares otimizadas para o tipo de material precursor e o uso destinado.

5.6 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Durante a preparação das amostras para serem submetidas a análises de MEV, foi encontrado dificuldades, em especial no tocante ao lixamento das amostras das argamassas a base de cimento Portland. Tais dificuldades estavam associadas ao descolamento das pérolas de pirex da matriz, originando vários espaços vazios. A hipótese é de que pelo fato do agregado (pirex) em várias granulometrias estarem na forma esférica na sua grande maioria, não apresentarem forma de ancoragem satisfatória na estrutura, facilitando assim o escape durante algum processo de arraste como o lixamento.

Este fato não foi observado nas amostras das barras a base de material alcalinamente ativado, onde os grãos de pirex permaneceram firmes na estrutura, devido a adesão pasta/agregado ser mais forte no material alcalinamente ativado do que no cimento.

As Figura 17 a 19 apresenta as micrografias das barras de cimento.

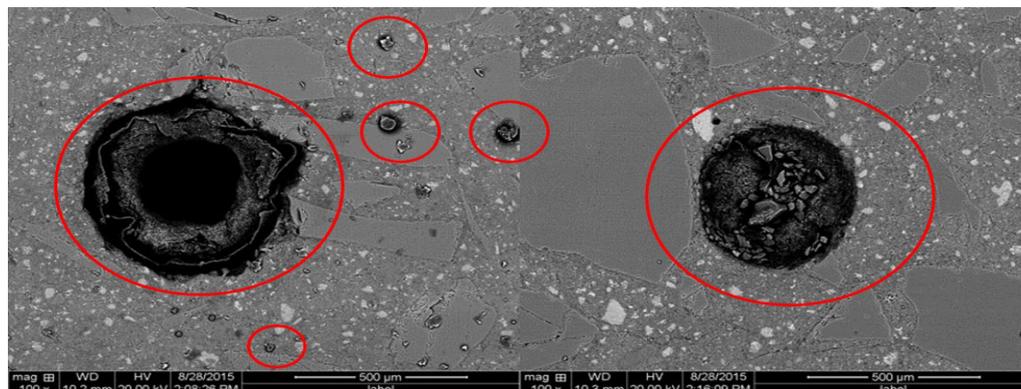


Figura 17: Micrografia SEM das barras CPV-ARI.P, destacando os espaços vazios oriundos das pérolas de pirex que se descolaram da estrutura.

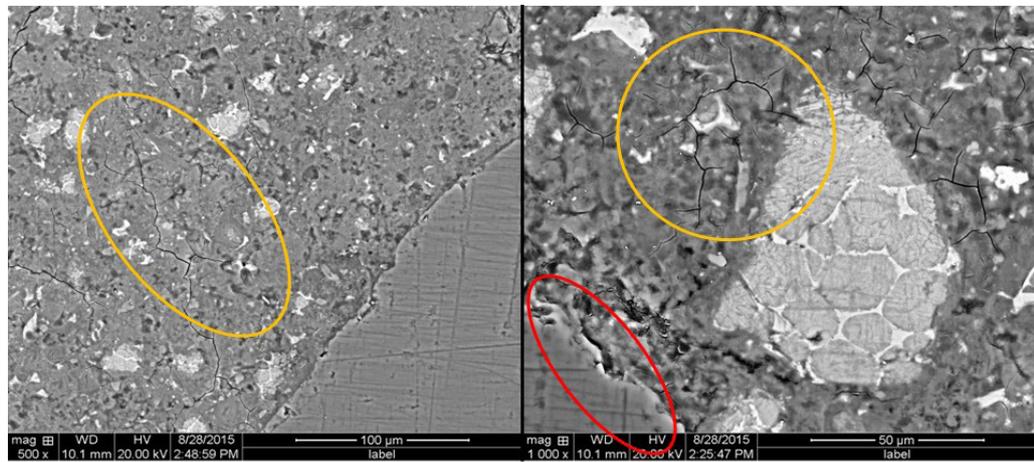


Figura 18: Micrografia SEM das barras CPV-ARI.P, destacando as fissuras e descolamento nas interfaces entre o agregado e a matriz cimentícia.

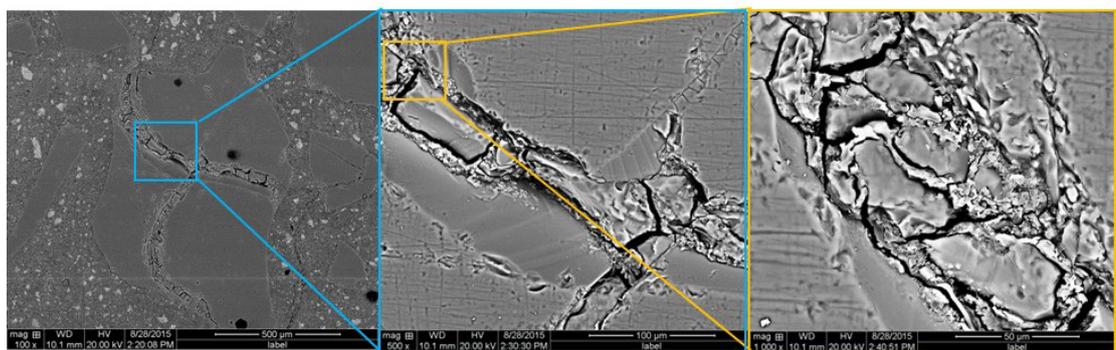


Figura 19: Micrografia SEM das barras CPV-ARI.P, destacando as fissuras no grão de pirez.

Pela Figura 17 pode-se observar os espaços vazios decorrentes do descolamento das pérolas de pirez durante o processo de lixamento da amostra. Nota-se que os agregados descolados da estrutura, tem em sua maioria formato esférico, não apresentando nenhuma estrutura de ancoragem na pasta. Observa-se, ainda, que ocorreu um descolamento geral das pérolas, independente da sua granulometria.

Na Figura 18 é possível observar detalhes da matriz cimentícia que se encontra bastante fissurada (destaque na cor laranja), provavelmente decorrentes da expansão da estrutura quando submetida ao ensaio de expansão pelo método acelerado. É possível observar ainda o descolamento (destaque na cor vermelha) entre os agregados e a matriz.

Em diversas partes da amostra foram encontradas um gel no centro e em volta dos grãos de pirez, bem como extensas fissuras em torno do agregado. Avalia-se que esta seja uma manifestação decorrente da expansão da estrutura em função da ocorrência da RAA.

As Figura 20 e 21 apresentam as micrografias das barras MK.P.SiNa.

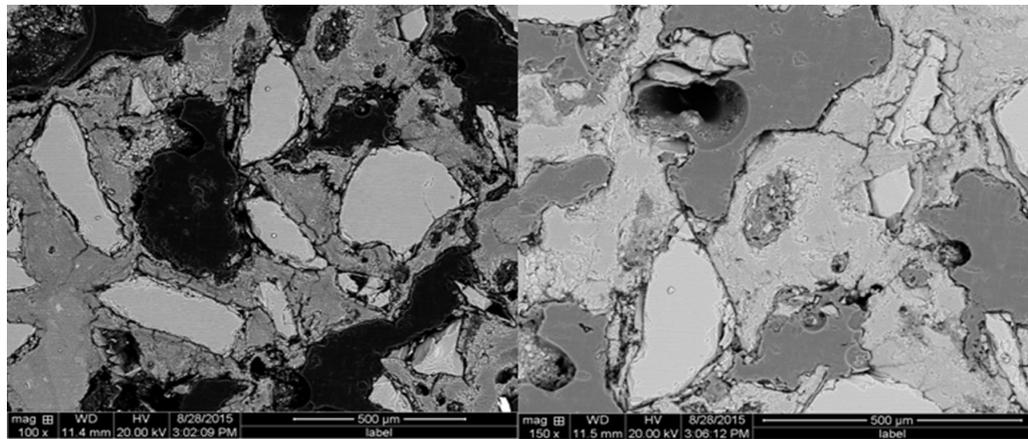


Figura 20: Micrografia SEM das barras de MK.P.SiNa.

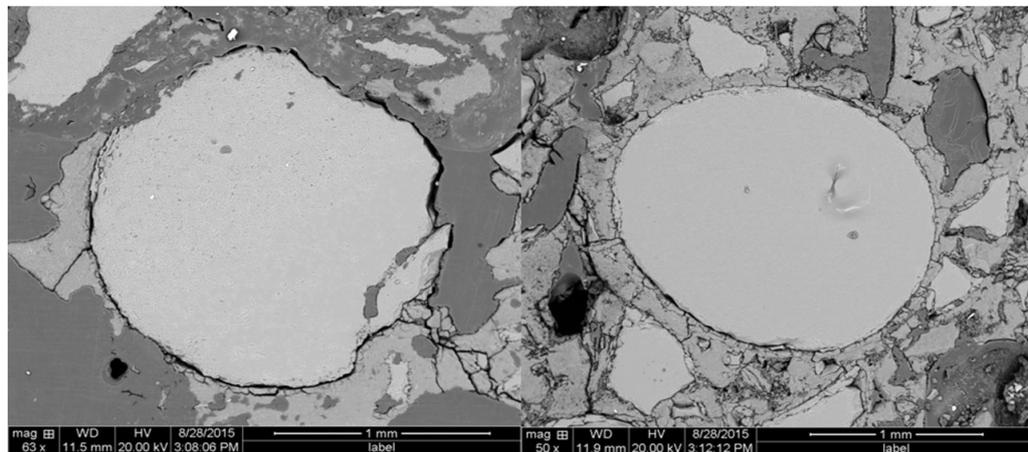


Figura 21: Micrografia SEM das barras de MK.P.SiNa.

Pode-se observar pela Figura 20 que o material alcalinamente ativado também apresentou uma matriz repleta de espaços vazios. Contudo, o mesmo aparenta ser resultado de uma mistura ineficiente (em termos de compactação da matriz) e não devido ao descolamento do agregado. Esses espaços são destacados pela coloração escura devido ao preenchimento dos vazios pela resina de embutimento. É observado, pela Figura 21, que os agregados realmente permaneceram aderidas a matriz do material alcalinamente ativado, embora, seja perceptível fissuras na sua interface.

6 | CONCLUSÃO

Após todas as análises e ensaios realizados, pode-se observar que as barras de MAA (MK.Na.P) apresentaram uma expansão insignificante quando comparadas as barras de cimento Portland. Estes resultados, em conjunto com os resultados de ultrassom, sugerem que as barras não foram afetadas pela RAA, apesar de apresentarem teores elevados de sílica e álcalis, o que indica que estes componentes foram imobilizados na matriz do MAA, enquanto no cimento estes componentes ficam disponíveis para reagirem e assim, ocasionarem a RAA, que é extremamente

prejudicial para estruturas.

A estrutura interna das argamassas de MAA apresentaram poucas fissuras em seu interior quando comparadas aos resultados das barras a base de Cimento Portland que possuíam grandes amplitudes, observados pelos resultados de ultrassom.

Mesmo após submissão a ambientes agressivos as amostras de MAA's apresentaram resistências satisfatórias quando comparadas as amostras a base de cimento Portland, bem como as resistências dos MAA's podem ter sido influenciadas pelo processo de mistura que é uma parte importante na polimerização dos MAA's, ou ainda pela formulação utilizada, que seguiu o preconizado na norma e não as razões otimizadas para a aplicação como materiais estruturais de grande desempenho.

Foi observado ainda, para análise de MEV, que o MAA possibilita maior aderência entre a matriz e os tipos de agregados utilizados na pesquisa, quando comparados as argamassas a base de cimento Portland, visto terem sido observados descolamento de pérolas de pirex (em formato esférico) na matriz cimentícia do CP, além destes foi observado fissuras exclusivas nas amostras de cimento e pirex, que se podem ser oriundas da Reação Álcali-Agregado, ou até o gel formado na reação.

Diante do exposto, há evidências de que os MAA's apresentam um excelente potencial para reforçar estruturas danificadas e mitigar a RAA ou até mesmo substituir o cimento em estruturas com pequenos volumes.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15577: Agregados - Reatividade álcali agregado. Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto Rio de Janeiro, 2008.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5733: Cimento Portland com alta resistência inicial. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

CARMONA, A. F.; HELENE, P. R. L. Fissuração das Peças de Concreto Armado e Corrosão das Armaduras. In: Seminário Nacional de Corrosão na Construção Civil, 2., Rio de Janeiro, set. 1986. Anais. Rio de Janeiro, ABRACO, 1986. p.172-95.

CHANG, R. (1994). "Química", Ed. McGraw-Hill, Lisboa.

DAVIDOVITS, J. *Ancient and modern concretes: What is the real difference?* Concrete International, v. 9, nº 12, p. 23-35, Dezembro 1987.

DIAMOND, S. ASR: Another look at mechanisms. In: International Conference on Alkali-Aggregate Reaction (ICAAR), 8., Kyoto. Proceedings...Kyoto: Edited by K. Okada, S. Nishibayashi & M. Kawamura, 1989. P. 83-94. 1989.

DUXTON, P. *The structure and thermal evolution of metakaolin geopolymers*. Thesis of Doctor of Philosophy in Engineering of Department of Chemical and Biomolecular Engineering, the University of Melbourne, 2006.

- DUYOU LU et al. Alkali-aggregate reactivity of typical siliceous glass and carbonate rocks in alkali-activated fly ash based geopolymers. Proc. SPIE 8793, Fourth International Conference on Smart Materials and Nanotechnology in Engineering, 879313 (August 9, 2013). doi: 10.1117/12.2032185
- FERNANDEZ-JIMENEZ, A.; PALOMO, A (2007) Mater. Construc. (in press).
- FERNANDEZ-JIMENEZ, A.; PALOMO, A.; LOPEZ-HOMBRADOS, C. ACI. Mater. J. 103:106 (2006).
- GARCIA-LODEIRO, I; PALOMO, A; FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, A. Alkali-aggregate reaction in activated fly ash systems. Cement Concrete Research, 37(2007):175-183.
- GOMES, K. C.; TORRES, S. M.; SILVA, A. C.; DINIZ NETO, J. G.; MELO, K. L. M; BEZERRA FILHO, E. J. A. Effect of the Use of AAC in Mitigating the Alkali-Aggregate Reaction. In: 15th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction. São Paulo, 2016.
- HASPARYK, N. P. Investigação dos Mecanismos da Reação Álcali- Agregado – Efeito da Cinza de Casca de Arroz e da Sílica Ativa. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil. 1999.
- HASPARYK, N. P. Investigação de Concretos Afetados pela Reação Álcali-Agregado e Caracterização Avançada do Gel Exsudado. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.
- HOOBS, DW. Alkali-silica reaction in concrete. London. Ed. Thomas Telford Ltd., 1988.
- HU S., WANG H., ZHANG G., DING Q., Bonding and abrasion resistance of geopolymeric repair material made with steel slag, Cement & Concrete Composites (2008).
- KIHARA, Y. Reação álcali-agregado: aspectos mineralógicos. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE AGREGADOS, 1., 1986, São Paulo. Anais...São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1986 p. 127-138.
- LARIVE, C. (1997), Apport Combinés de L'Alkali-Réaction et des ses Effets Mécaniques, thèse de doctorat, École Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, France.
- LEGER, P., TINAWI, R., MOUZER, N. (1995), "Numerical Simulation of Concrete Expansion in Concrete Dams affected by Alkali-Aggregate Reaction: State-of-the-Art", Canadian Journal of Civil Engineering, v. 22, pp. 692-713.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto - estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Ed. IBRACON, 2008.
- MIRANDA JM, FERNANDEZ-JIMENEZ A, GONZALEZ JA, PALOMO A (2005) Cement Concrete Research 35:1210.
- MUHD F.N., SITI N.A.R. Effects of geopolymer concrete fly ash based on alkali silica reaction (ASR). Applied Mechanics and Materials, Vol. 567 (2014) 405-410, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.567.405
- PACHECO-TORGAL F., CASTRO-GOMES J.P., JALALI S., Adhesion characterization of tungsten mine waste geopolymeric binder. Influence of OPC concrete substrate surface treatment, Construction and Building Materials (2008).
- PALOMO, A.; PALACIOS, M. Alkali-activated cementitious materials: Alternative matrices for the immobilisation of hazardous wastes - Part II. Stabilisation of chromium and lead. Cement and Concrete Research 33(2):289-295. (2003).

PALOMO, A., GRUTZECK, M.W., BLANCO, M.T. (1999). "Alkali-activated Fly Ashes: A Cement for the Future", *Cement and Concrete Research*, Vol. 29, pp. 1323-1329.

PATIL, K.K., ALLOUCHE, E. Effect of alkali silica reaction (ASR) in geopolymer concrete. *World of Coal Ash (WOCA) Conference*. May, 2011. Denver, USA.

PAULON, V. A. Reações álcali-agregado em concreto. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 1981.

PETERSON, M. G., ULM, F-J, (2000), *Chemoplasticity of the Alkali-Silica Reaction in Concrete: Modeling of Stress-Induced Anisotropy*, Report, Department of Civil & Environmental Engineering - School of Engineering, Massachusetts, EUA, June 2000.

POOLE, A.B. Introduction to álcali-aggregate reaction in concrete. In: SWAMY, R.N. *The Alkali-Silica Reaction in Concrete*. Glasgow?London: Blackie?New York: Van Nostrand Reinhold, 1002, p. 1-29.

PUERTAS, F. Cementos de escorias activadas alcalinamente: Situación actual y perspectivas de futuro. *Materiales de Construcción* 45, p. 53–66 (1995).

SILVEIRA, A. A., *Contribuição ao Estudo do Efeito da Incorporação de Cinza de Casca de Arroz em Concretos Submetidos a Reação álcali-agregado / Adriana Augustin Silveira*. – 2007. Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, BR-RS, 2007.

STANTON, T. E. (1940), "Expansion of Concrete Through Reaction between Cement and Aggregate". *Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, v. 66, p. 1781-1811.

SWAMY, R. N.; AL-ASALI, M. M. Expansion of concrete due alkali-silica reaction. *ACI Materials Journal*. v. 85, n. 5, p. 33-40, 1988.

TAYLOR, H. F. W. *Cement chemistry*. 2. Ed. London: Thomas Telford, 1997.

THAUMATURGO, C.; THOMAZ, E.C.; SILVA, F.J.; PEREIRA, D. Cimento polimérico inorgânico para aplicações civis. In: *Congresso da Associação Brasileira de Cimento Portland*, São Paulo, 1999.

TIECHER, et al. A Reatividade dos Agregados do Sul do Brasil. *Revista IBRACON de Materiais*, v. 3, n.1, p. 82-91, mar 2007.

TIECHER, et al. Avaliação da Utilização do Cimento de Alta Resistência Inicial e Resistente a Sulfatos no Combate à Reação Álcali-Agregado. In: *Simpósio sobre Reatividade Álcali-Agregado em Estruturas de Concreto*, 2, 2006. Rio de Janeiro. Anais... São Paulo: IBRACON, 2006. 1 CD-ROM.

TIECHER, F. Influência do Grau de Cristalinidade e Deformação do Quartzo no Desencadeamento da Reação Álcali-Agregado. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.

VALDUGA, Laila. Reação Álcali-agregado: Mapeamento de agregados reativo do estado de São Paulo. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Campinas, Escola de Engenharia Civil, Campinas- SP, 2002.

VAN JAARSVELD, J.G.S.; VAN DEVENTER, J.S.J.; SCHWARTZMAN, A. The Potential use of Geopolymeric Materials to Immobilise Toxic Metals: Part II. Material and Leaching Characteristics. *Minerals Engineering*, Vol. 12, No. 1, pp. 75-91, (1999).

VAN JAARSVELD, J.G.S.; VAN DEVENTER, J.S.J.; LORENZEN, L. The potential use of geopolimetric materials to immobilize toxic metals: part I. Theory and applications. *Minerals Engineering*, v. 10, n. 7,

p. 659-669, 1997.

VAN JAARVELD, J.G.S.; VAN DEVENTER, J.S.J.; LORENZEN, L. Factors affecting the immobilization of metal in geopolymerized fly ash. *Metallurgical and Materials Transactions B. Process Metallurgy and Materials Processing Science* 29(1): 283-291 (1998).

ESTRUTURA AXIOMÁTICA DO ORIGAMI: UMA ABORDAGEM DOS POLIEDROS REGULARES NA FORMAÇÃO DE PROFESSORES DE MATEMÁTICA

Anita Lima Pimenta

Universidade do Estado de Minas Gerais
Ibirité – MG

Eliane Scheid Gazire

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Belo Horizonte – MG

RESUMO: A pesquisa surgiu a partir da necessidade de comprovar os benefícios da aprendizagem geométrica com a construção dos poliedros platônicos a partir do origami. O público-alvo (25 estudantes do curso noturno de graduação em Matemática em uma universidade na região metropolitana de Belo Horizonte/MG). O público foi escolhido em função da possibilidade de vir a ser multiplicador da técnica. Após breve abordagem histórica da Geometria e do origami, procurou-se, nas obras de Rego, Rego e Gaudêncio Jr. (2003), Kaleff (2003) e Genova (2001), encontrar embasamentos teóricos e propostas de atividades realizadas através da dobradura de papel. Utilizaram-se as ideias de Fuse (1990), que aponta o Origami Modular como uma alternativa para se construírem figuras poliédricas, e Lang (2010), que organiza as sete operações classificadas como Axiomas do Origami. Esse último traz para o contexto escolar um embasamento científico que justifica matematicamente o uso do origami nas

aulas de Geometria. Para o desenvolvimento do trabalho, foram organizadas oficinas com objetivo de apresentar atividades geométricas que pudessem ser realizadas com o auxílio do Origami Modular e sua estrutura axiomática. Concluiu-se, com o desenvolvimento do estudo, que o origami possibilita um trabalho efetivo na aprendizagem da Geometria de maneira lúdica, contextualizada, promovendo a autonomia do estudante e entendendo-o como um suporte para a construção de conceitos por meio de materiais concretos. A pesquisa deu origem a um material paradidático que servirá de apoio a professores no desenvolvimento de atividades em sala de aula.

PALAVRAS-CHAVE: Geometria. Origami. Axiomas. Professores.

INTRODUÇÃO

Este trabalho surgiu após experiências, em aulas de Matemática no ensino médio, utilizando-se o origami como recurso didático para o ensino da Geometria. Apesar de adotar esse recurso, não havíamos — até o momento — realizado nenhum estudo a respeito da eficiência dessa técnica em relação ao ensino e aprendizagem.

Ensinar Geometria utilizando origami depende da vontade do professor em se

aperfeiçoar na técnica, que pode proporcionar descobertas que contribuem com a construção dos conceitos elementares da Geometria Euclidiana.

O público-alvo foi composto por 25 estudantes do 4º período do curso noturno de graduação em Matemática de uma universidade pública da região metropolitana de Belo Horizonte.

As atividades com origami poderiam ser apresentadas em Geometria Plana I e II, Desenho Geométrico I e II ou Geometria Espacial, sendo a última escolhida por caracterizar maior abrangência ao tema apresentado.

Para tanto, tem-se como objetivo geral inserir a prática do origami em sala de aula, na expectativa de que, com sua abordagem axiomática, a aprendizagem da Geometria se torne mais significativa, proporcionando maior compreensão no estudo dos poliedros platônicos.

Escolheu-se trabalhar com uma turma de estudantes de graduação por se acreditar que esse público tem grande potencial para se tornar multiplicador da proposta. Direcionou-se o foco para o 4º período, pois é nesse momento acadêmico que a disciplina Geometria Espacial é oferecida. Logo, os conceitos básicos da Geometria Plana já foram vistos e os futuros professores se encontram mais preparados para discutirem o tema proposto.

A seguir serão apresentados a importância do ensino da Geometria com uso do Origami, o percurso da pesquisa, a aplicação/análise das atividades propostas e, por fim, as considerações que reúnem os resultados obtidos ao final do estudo.

O ENSINO DA GEOMETRIA COM ORIGAMI: UMA PERSPECTIVA AXIOMÁTICA

De origem japonesa, a palavra “origami” significa dobrar papel. Prieto (2002) explica que *ori* significa dobrar — deriva do desenho de uma mão — e *kami* remete a papel — provém da representação de uma seda. Essa arte foi estabelecida em todo o mundo. No Brasil, é conhecida com dobradura; na língua espanhola, como *papiroflexia*, e, no inglês, como *paperfolding*.

Acredita-se que essa arte seja tão antiga quanto a origem do próprio papel. Muitos pesquisadores creem que o Origami não seja exclusividade japonesa, como Kanegae e Imamura (1989) relatam. Segundo eles, apesar de o Japão ser considerado o berço do Origami, seu surgimento pode ter ocorrido na China, uma vez que nesse país a história do papel é muito mais antiga. Para os autores:

Em praticamente todos os países onde existe o papel, há uma maneira própria de dobrar este material. Alguns pesquisadores do origami acreditam que ele tenha surgido por volta do século VI d.C., quando um monge budista trouxe da China, via Coreia, o método de fabricação do papel, que até então era desconhecido pelos japoneses. Por causa do seu valor, as pessoas utilizavam-no em origamis especiais ou em cerimônias específicas. (KANEGAE; IMAMURA, 1989, p. 8).

Assim, não se sabe ao certo como se começou a dobrar papel, mas, segundo

Kanegae e Imamura (1989), julga-se que haja alguma ligação com os costumes religiosos, já que em templos xintoístas eram encontradas ornamentações divinizadas feitas de papel.

Rego, Rego e Galdêncio Jr. (2003, p. 25) contam que “A religião dos mouros proibia a criação de qualquer representação simbólica de homens ou animais através do origami”. Isso fez com que a arte fosse cada vez mais associada às construções geométricas. As regularidades encontradas nas dobraduras de papel aguçaram a curiosidade de estudiosos, que foram buscando estabelecer conexões dessas dobragens com a Matemática e, mais especificamente, com a Geometria.

Devido a essas conexões estabelecidas, no final do século XX os matemáticos começaram a se interessar por essa arte. Muitos perceberam que as diversas criações feitas com origami iam muito além da inspiração, da criatividade e da arte, estando, na verdade, associadas a conceitos e limitações geométricas. Prieto (2002) ressalva que se por um lado a escola oriental cultiva o origami por sua arte, a ocidental considera o modelo matemático que ele traz consigo.

Tomoko Fuse é uma das mais importantes origamistas da história no que se refere ao Origami Modular — obtido pela união de vários moldes dobrados um a um. Fuse (1990) menciona essa modalidade do origami como uma forma lúdica que exige tempo e dedicação de quem se propõe a fazê-lo, mas ressalta que, depois de completadas as unidades e encaixadas as formas finais, estas se tornam claras e expressivas.

Fuse (1990, p. 133), em sua obra *Unit Origami Multidimensional Transformations*, apresenta vários tipos de poliedros construídos através do Origami Modular, afirmando: “Nós permitimos que os poliedros se desenvolvam em todas as direções no espaço para gerar novos tipos de sólidos de origami unitários”. A autora apresenta diagramas dos mais variados poliedros e, entre eles, os regulares.

Assim como as figuras geométricas de modo geral, as construções geométricas tradicionais feitas por dobraduras são regidas por um conjunto de axiomas que permite provar a existência de cada dobra possível de ser realizada. Rafael (2011) destaca o matemático Humiaki Huzita, da Universidade de Pádua, na Itália, que, na década de 1970, criou as seis operações conhecidas como axiomas de Huzita. Em 2001, Koshiro Hatori mostrou uma dobragem diferente dos axiomas existentes, surgindo, então, o sétimo axioma. A esse respeito, Rafael (2011, p. 19) ressalta: “Estes axiomas [que na realidade são operações] descrevem operações básicas que se podem efetuar em origami e permitem caracterizar formalmente o tipo de construções geométricas que é possível fazer com origami.”

Ainda de acordo com a autora, foi somente em 2003 que Robert Lang publicou o estudo no qual mostra as sete combinações de dobras, conhecidas agora como axiomas de Huzita-Hatori. Em 2010, Lang publica outro artigo, em que apresenta crédito apropriado a Jaques Justin para o sétimo axioma. Segundo Lang (2010), o francês Jacques Justin publicou o artigo *Resolution par le pliage de l'équation*

du troisieme degre et applications geometriques em 1989, no qual enumerou sete possíveis combinações de alinhamento, sendo o último apresentado antes da descoberta de Hatori, permitindo a definição das combinações tanto como Huzita-Hatori, quanto como Huzita-Justin. De acordo com Lang (2010), isso mostra que pesquisadores independentes expressaram as mesmas leis universais na linguagem matemática.

Essas operações permitem combinações entre si para se obter qualquer construção simples (dobra única) em origami. Segundo Rafael (2011, p. 19), “Na teoria matemática das construções geométricas com dobragens de papel, os sete axiomas de Huzita-Hatori chegam para definir o que é possível construir com dobragens simples”.

Lang (2003) realizou um estudo completo de todas as dobragens possíveis que especificam um único vinco e comprovou a existência de somente 7 axiomas, como mostra a Figura 1:

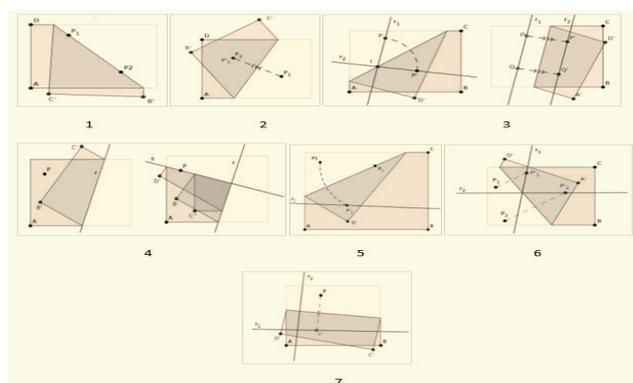


Figura 1 – Corpo axiomático da Geometria do Origami

Fonte: PIMENTA, 2017, p. 47.

Essa estrutura axiomática possibilita, portanto, uma compreensão da matemática que há por trás de uma simples dobradura de papel.

Tendo sido estabelecida uma relação entre a matemática e o origami, é possível delinear os caminhos os quais a pesquisa percorreu, possibilitando o apontamento do origami como um recurso metodológico para as aulas de Matemática. A proposta foi criar linhas dobrando papel — em vez de usar régua — e ensinar uma variedade de conteúdos matemáticos a partir de uma aula lúdica, criativa e direcionada ao ensino da Geometria. Rego, Rego e Galdêncio Jr. mostram que:

Na realização das dobraduras, os estudantes familiarizam-se com formas geométricas, movimentos de transformação e múltiplas linhas de simetria dentro de uma mesma figura. Noções de retas perpendiculares, retas paralelas, figuras planas e sólidas, congruência, bissetrizes de ângulos, relações entre áreas e proporcionalidade poderão ser introduzidas de maneira igualmente eficaz. As dobraduras possibilitam ainda o desenvolvimento de atividades relacionadas ao estudo de frações, aritmética, álgebra e funções, dentre outros. (REGO; REGO; GALDÊNCIO JR., 2003, p. 18).

Corroborando com os autores, percebe-se que a dobradura de papel é capaz de despertar o processo evolutivo do pensamento algébrico, aritmético e geométrico. Ela também permite que se construam conceitos a partir de cada dobra efetuada, além de explorar a percepção visual do aluno. A esse respeito, porém, Kaleff (2003) informa:

Embora a maioria das representações de objetos geométricos seja perceptível visualmente, é importante não confundir a habilidade da visualização, isto é, a habilidade de se perceber o objeto geométrico em sua totalidade, com a percepção visual das representações disponíveis deste objeto. (KALEFF, 2003, p. 16)

Utilizando o origami em uma aula de Matemática, o papel se torna o material manipulativo nas mãos do aluno para que possa explorá-lo e percebê-lo, seja em sua bidimensionalidade ou na transformação do plano para o espaço tridimensional. Isso permite entender sobre o porquê de se ensinar Geometria com origami. Tomoko Fuse (1990) acredita que há uma grande diferença em entender alguma coisa através da mente e conhecer essa mesma coisa através do tato.

Por ser universal, a linguagem do origami também possibilita que qualquer pessoa faça uma leitura interpretativa de seus diagramas, o que contribui com a memorização do passo a passo e se transforma em exercício mental.

Portanto, nessa concepção, o origami não é visto apenas como uma “arte de dobrar papel”, mas, sim, como um objeto de aprendizagem constituído por um corpo axiomático com embasamento matemático, a fim de assegurar um ensino significativo.

Porém, para se ensinar Geometria através do origami, o professor precisa, primeiro, conhecer e dominar a técnica. A seguir, será abordado o desenvolvimento da pesquisa cujos resultados aqui se apresentam, bem como o contexto em que ela foi realizada.

A PESQUISA: DA ESCOLHA DO MATERIAL À ORGANIZAÇÃO DAS OFICINAS

Nem todos os modelos em origami partem de um papel quadrado; alguns podem ser feitos a partir de um papel retangular, como divulga Costa (2007). A autora indica, como um dos retângulos mais utilizados nessa técnica, aqueles que possuem os lados na razão $1/\sqrt{2}$, e um exemplo desse tipo de papel é o A4. Portanto, esse foi o formato de papel escolhido para desenvolver as atividades, uma vez que é um material facilmente encontrado nas escolas.

A gramatura sugerida foi entre 75g/m^2 e 80g/m^2 , que permite uma solidez nas dobras sem comprometer seu encaixe.

As atividades das oficinas foram elaboradas de forma que o participante pudesse perceber a evolução da técnica do origami. Para tanto, procurou-se apresentar uma noção inicial da técnica que estabelecesse uma relação axiomática

com a Matemática. Em seguida, foi mostrado que essa conexão com o ensino gera consequências que possibilitam a realização de demonstrações para, enfim, construir os poliedros platônicos, aproveitando as definições e conceitos que possam surgir no decorrer das dobragens. A esse respeito, Genova (2001) explica:

Na geometria ensinada na escola, a importância da construção é frequentemente subestimada. A passagem da manipulação de materiais ou do reconhecimento de formas aos conceitos teóricos costuma ser muito abrupta. Uma mediação natural entre tais níveis de abordagem da geometria são as construções geométricas. O origami pode desempenhar esse papel mediador de modo interessante e fecundo. (GENOVA, 2001, p. 119)

Assim, utilizando o origami como um recurso metodológico, são apresentados os três momentos das oficinas realizadas, contendo as atividades aplicadas em cada um:

- 1º momento: Explorando os axiomas do origami;
- 2º momento: Consequências dos axiomas de Huzita-Hatori;
- 3º momento: Construindo poliedros platônicos com origami.

As atividades foram elaboradas com o objetivo de fazer com que os alunos investigassem a partir das situações problemas propostas, refletissem e argumentassem sobre os resultados encontrados. Para isso dividiu-se a turma em grupo a fim de que os estudantes pudessem manipular as dobraduras e construir os sólidos.

Para a execução das primeiras atividades, cada grupo recebeu folhas de papel brancas ou em tons pastel para serem utilizadas em dois momentos: exploração e consequência dos axiomas.

Já no terceiro momento, destinado à confecção dos poliedros platônicos, foi entregue aos alunos um kit previamente preparado contendo 8 folhas A4 inteiras, 4 divididas ao meio e 22 divididas em quatro partes, a fim de favorecer e agilizar o desenvolvimento das atividades.

A ordem de construção iniciou-se com os módulos do hexaedro e, em seguida, o dodecaedro. Por fim, os módulos do tetraedro, octaedro e icosaedro, que são semelhantes entre si, diferenciando-se apenas pelo tamanho.

Essa ordem foi estabelecida visto que a dobradura e o encaixe dos dois primeiros sólidos são mais simples. Isso fez com que os participantes se sentissem motivados a realizar as atividades seguintes, pois já teriam montado os primeiros poliedros platônicos.

APLICAÇÃO E ANÁLISE DAS ATIVIDADES PROPOSTAS

As atividades propostas no 1º momento de oficina tinham como finalidade que os alunos realizassem experimentos utilizando pedaços de papel, executando dobras que os levassem a identificar os axiomas apresentados. Desse modo, teriam a oportunidade de iniciar, de forma prática, o desenvolvimento do corpo axiomático

da Geometria do Origami.

Esse momento foi fundamental na oficina, pois mostrou a influência que a Matemática estabelece sobre a técnica do origami. Estudar, portanto, as características dessa arte é fundamental para realizar as associações desta com as Geometrias, em especial com a Euclidiana. Assim, conhecer essa estrutura axiomática permite a constatação de definições, conceitos e propriedades elementares da Geometria Plana e Espacial.

Alguns questionamentos surgiram no desenvolvimento da atividade:

Estudante 1: *“Como represento esse segundo axioma?”*

Pesquisadora: *“Leia o que ele diz”.*

Estudante 1: *“Dados dois pontos, P_1 e P_2 , há uma dobragem que os torna coincidentes”.*

Pesquisadora: *“O que você faria pra tornar dois pontos coincidentes?”*

Estudante 1: *“Colocaria um sobre o outro”.*

Pesquisadora: *“Então experimente colocar sob a luz”.*

E após utilizar a estratégia, o estudante conseguiu executar a tarefa, como mostra a Figura 2.



Figura 2: Pesquisadora auxiliando os estudantes

Fonte: Arquivos da pesquisadora.

Nem todos conseguiram concluir os experimentos em sua totalidade. Porém, o que se esperava era que os participantes se familiarizassem com o corpo axiomático do origami, a fim de perceberem a importância da Matemática nessa técnica que já era conhecida por muitos. Além disso, com essa atividade, vários conceitos elementares da Geometria Plana foram lembrados, como pontos e retas coincidentes, retas paralelas, concorrentes e perpendiculares. Identificou-se, portanto, que o objetivo foi alcançado.

Já o 2º momento da oficina foi destinado à constatação da aplicabilidade de alguns axiomas apresentados. Como a maior parte dos sujeitos da pesquisa atua no Ensino Fundamental, foi selecionada uma atividade relacionada à Geometria que pode ser aplicada nesse nível de ensino. Para tanto, foi proposta a realização da

demonstração do Teorema de Pitágoras (Figura 2) como consequência do quarto axioma — dados um ponto P e uma reta r há uma única dobragem perpendicular à r que passa por P .



Figura 3: Dobradura referente à demonstração do Teorema de Pitágoras

Fonte: Arquivos da pesquisadora.

Pôde-se notar que, mesmo com algumas dificuldades, todos conseguiram executar a tarefa proposta e, quando viram o resultado, demonstraram satisfação em comprovar um teorema tão importante e de grande relevância na Matemática.

Para finalizar, o terceiro momento foi destinado à construção dos cinco sólidos regulares a partir das dobras feitas com o origami. No decorrer dessas construções, foram abordados conceitos importantes da Geometria Plana que contribuem para o posterior estudo da Geometria Espacial.

Nesse momento da oficina, as atividades foram realizadas em grupo, visto que seria necessária a produção de vários módulos para a construção dos poliedros. Todos os grupos conseguiram executar a montagem dos sólidos, uns com menos e outros com um pouco mais de dificuldade.



Figura 3: Construção dos poliedros platônicos

Fonte: Arquivos da pesquisadora.

Alguns alunos perguntaram se não havia um material impresso com as instruções ou um passo a passo, pois consideraram difícil se lembrar de todas as orientações transmitidas. Com relação a isso, foi explicado que a pesquisa apontava para a elaboração de um material de apoio ao professor e aquele que se interessasse poderia reproduzir os modelos apresentados.

CONSIDERAÇÕES

O presente trabalho de pesquisa se propôs a investigar se há benefícios na aprendizagem geométrica com a construção dos poliedros platônicos a partir do origami, tendo, como público-alvo, estudantes do curso de graduação em Matemática.

Após a análise das atividades, verificou-se que o processo de construção de modelos geométricos com origami foi fundamental para a elaboração dos conceitos, tais como: ponto médio, retas (paralelas, perpendiculares e concorrentes), diagonais, eixos de simetria, alturas, bissetrizes, medianas, mediatrizes, ângulos, proporções, semelhanças, entre outros. Como aponta Genova (2001), o origami pode exercer o papel de mediador ao promover as construções geométricas associando o reconhecimento das formas aos conceitos teóricos.

Conforme as dobraduras iam sendo executadas, os participantes notavam vários polígonos que se formavam: triângulos de vários tipos, quadrados, retângulos, paralelogramos, trapézios, pentágonos, entre outros. Essas constatações permitiram que os alunos definissem essas figuras e determinassem suas propriedades. Em conformidade com Kaleff (2003), considerou-se que as situações de investigação e descoberta deveriam ser incentivadas em sala de aula e identificou-se, nessas atividades, uma boa oportunidade para promovê-las. Mesmo sem conhecer algumas das propriedades em questão, os participantes puderam percebê-las ao manipular o papel que tinham em mãos.

Depois de construir os módulos geométricos de cada poliedro platônico, os integrantes dos grupos usaram sua intuição e criatividade para realizar as conexões entre as peças, pois existem distintas possibilidades de exercê-las. Essa movimentação, como mostram Rego, Rego e Galdêncio Jr (2003), contribuiu com o desenvolvimento da percepção geométrica plana e espacial, além de estabelecer relações entre esses entes.

A técnica do origami é explorada em muitas atividades pedagógicas, porém nem sempre se estabelecem conexões com a Matemática. A pesquisa trouxe a possibilidade de um olhar criterioso para uma arte que pode ser grande aliada do ensino e aprendizagem geométrica de nossos estudantes. E, como dizem os colegas origamistas, “mãos à obra!”

REFERÊNCIAS

COSTA, E. M. **Matemática e origami**: trabalhando frações. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2007.

FUSE, T. **Unit Origami**: Multidimensional Transformations. Tokyo: Japan Publications, 1990.

GENOVA, C. **Origami**: a milenar arte das dobraduras. 3. ed. São Paulo: Escrituras, 2001.

KALEFF, A. M. M. R. **Vendo e entendendo poliedros**: do desenho ao cálculo do volume através de quebra-cabeças geométricos e outros materiais concretos. 2. ed. Niterói: UFF, 2003.

KANEGAE, M., IMAMURA, P. **Origami: arte e técnica da dobradura de papel**. São Paulo: Aliança Cultural Brasil Japão, 1989.

LANG, R. J. **Origami Geometric and Constructions**. 2010. Disponível em: <http://www.wiskundemeisjes.nl/wp-content/uploads/2008/02/origami_constructions.pdf>. Acesso em: 13 dez. 2015.

PIMENTA, A. L. **Construindo poliedros platônicos com origami: uma perspectiva axiomática**. 2017. 183 f. Dissertação (Mestrado Profissional) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática, Belo Horizonte, 2017.

PRIETO, J. I. R. Matemáticas y papiroflexia. **Revista Sigma**, Bilbao, n. 21, p. 175-192, 2002. Disponível em: <http://www.cimat.mx/Eventos/secundaria10/03_Mats-y-Papiroflexia.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2015.

RAFAEL, I. Origami. **Educação e Matemática**, Lisboa, n. 114, p. 16-22, set./out. 2011. Disponível em: <http://www.apm.pt/files/_EM114_pp16-22_4e6489d4d25fc.pdf>. Acesso em: 4 abr. 2015.

REGO, R. G.; REGO, R. M.; GALDÊNCIO JÚNIOR, S. **A Geometria do Origami: atividades de ensino através de dobraduras**. João Pessoa: Universitária/UFPB, 2003.

ESTUDO DO EFEITO DOS PARÂMETROS DE PROJETO DE BICOS EXTRUSORES EM BIOIMPRESSÃO UTILIZANDO FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL

Patrícia Muniz de Oliveira

Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Engenharia

Belo Horizonte, Minas Gerais

Isabela Poley

Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Engenharia

Belo Horizonte, Minas Gerais

Estevam Barbosa Las Casas

Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Engenharia

Belo Horizonte, Minas Gerais

Marina Spyer Las Casas

Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Engenharia

Belo Horizonte, Minas Gerais

Janaina Dernowsek

Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer

Campinas, São Paulo

RESUMO: A demanda por doações de órgãos ainda é expressivamente maior que o número de doadores, mas o desenvolvimento de técnicas para biofabricar tecidos pode aliviar a crise de escassez de órgãos. A biofabricação de órgãos é abordada pela Engenharia de Tecidos e tem como objetivo construir, de forma automatizada, tecidos e órgãos funcionais. A bioimpressão pode gerar tecidos complexos a

partir da deposição tridimensional de diferentes tipos de células e biomateriais. A regulação da tensão de cisalhamento é de fundamental importância para a viabilidade celular durante e após o processo de bioimpressão. Neste artigo, o processo de bioextrusão é analisado por meio de simulações de dinâmica de fluidos computacional, para diferentes geometrias do bico de impressão da bioextrusora.

PALAVRAS-CHAVE: Engenharia de Tecidos, Bioimpressão, Bioextrusão, Biofabricação, CFD.

STUDY OF THE EFFECT OF THE PROJECT PARAMETERS OF EXTRUSION NOZZLES IN BIOPRINTING USING COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

ABSTRACT: The demand for organ donations is still considerably higher than the number of donors. The development of techniques for biofabricating tissues can reduce the crisis of organ shortage. The biofabrication of organs is approached by Tissue Engineering and its objective is the assembly of functional tissues and organs. Bioprinting can generate complex tissues from the three-dimensional deposition of different cell types and biomaterials. The control of shear stress levels has fundamental importance for cell viability during and after the

bioprinting process. In this study, the bioextrusion process is analyzed by computational fluid dynamics simulations for different geometries of bioextrusion nozzles.

KEYWORDS: Tissue Engineering, Bioprinting, Bioextrusion, Biofabrication, CFD.

1 | INTRODUÇÃO

O Brasil possui um grande sistema público de transplantes e o número de doadores de órgãos tem crescido nos últimos anos. Entretanto, a demanda por doações ainda é expressivamente maior e, atualmente, há cerca de 40 mil pessoas na fila de espera para doação de órgãos no Brasil (Ministério da Saúde, 2017). Ademais, os receptores enfrentam ainda como obstáculos o alto custo e a possibilidade de rejeições imunológicas a partir de transplante alogênico (HUANG *et al.*, 2017). Muitas pesquisas têm gerado métodos para criar pele artificial e cartilagem, porém tecidos mais complexos e heterogêneos exigem estudos mais aprofundados (BAJAJ *et al.*, 2014).

Técnicas de manufatura aditiva para biofabricar tecidos podem aliviar a crise de escassez de órgãos e são abordadas pela Engenharia de Tecidos (HUANG *et al.*, 2017). Trata-se de uma área multidisciplinar, que tem como objetivo a recuperação e regeneração de tecidos e órgãos. Extenso campo de pesquisa para a Engenharia de Tecidos, a biofabricação consiste em técnicas e métodos para a produção de órgãos e tecidos, usando biomateriais e incorporando células. A bioimpressão é uma tecnologia inovadora com grande potencial na saúde que se desenvolveu a partir da manufatura aditiva ou impressão 3D. Essa tecnologia emergente permite a produção de suportes 3D e/ou microtecidos com uma distribuição homogênea de células, materiais e moléculas ao longo de estruturas complexas (GROL, *et al.*, 2016; DERNOWSEK, *et al.*, 2017, HUANG *et al.*, 2017).

As tecnologias mais amplamente adaptadas para a bioimpressão 3D são a impressão a jato de tinta, impressão por extrusão, impressão assistida a laser e estereolitografia (HUNG *et al.*, 2017; MOTA, 2008; GAO e CUI, 2015). Tais processos permitem o emprego de biopolímeros, biocerâmicas e compósitos para aplicações em tecidos duros e em tecidos moles (MOTA, 2008).

A técnica de extrusão é a tecnologia de bioimpressão mais usada nos últimos anos (HUANG *et al.*, 2017). Esse processo de bioimpressão permite altas densidades celulares com processamento mais suave (BAJAJ *et al.*, 2014; GAO e CUI, 2015) e tem compatibilidade com diferentes tipos de materiais, com uma ampla gama de viscosidades (HUANG *et al.*, 2017). Além disso, a viabilidade da sobrevivência celular após a deposição por extrusão é considerada alta, superior a 90% (SEOL *et al.*, 2014).

Na bioimpressão por extrusão, a superfície ou o cabeçote de extrusão é movido de maneira direcionada, controlando a deposição espacial da biotinta por um bocal (BAJAJ *et al.*, 2014). O operador pode controlar o procedimento de extrusão, a

velocidade e o deslocamento espacial do cabeçote e da superfície de deposição por meio de um software de computador (HUANG *et al.*, 2017). Através do bocal de extrusão, usando pressão pneumática ou bomba de seringa (Figura 1), depositam-se filamentos contínuos de hidrogel contendo células livres ou encapsuladas em esferoides e, controlando-se a pressão ou o deslocamento do pistão, ajusta-se a quantidade de hidrogel depositado (SEOL *et al.*, 2014).

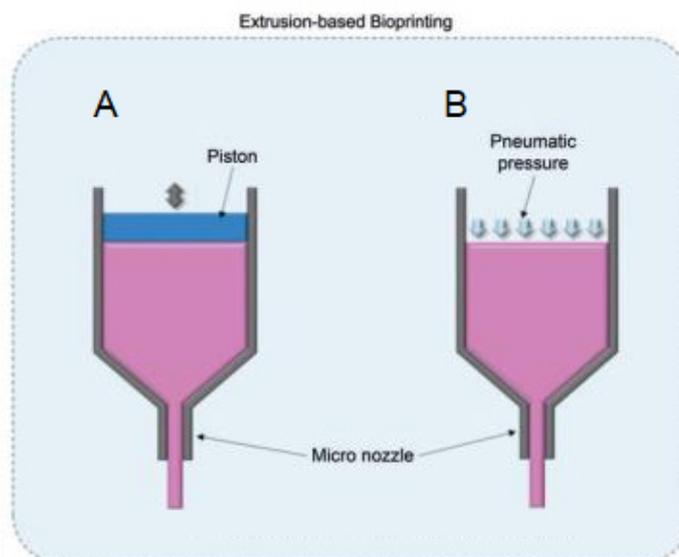


Figura 1 - Técnicas de bioimpressão baseadas em extrusão: (A) pistão ou (B) pressão pneumática (adaptada de SEOL *et al.*, 2014).

O processo de biofabricação pode ser realizado ainda por meio da extrusão de um biomaterial termoplástico através de uma feira (MOTA, 2008). Segundo Huang *et al.* (2017), a bioplotagem pode ejetar materiais como filamentos contínuos à temperatura ambiente ou fisiológica. Entretanto, a velocidade de impressão rápida pode fornecer altas tensões de cisalhamento, devido ao gradiente de velocidade do fluido na agulha fina. Se as tensões forem excessivas e o material contiver células, as membranas das células podem ficar sobrecarregadas e se romper, de modo que as células podem não sobreviver ao processo. A viabilidade celular varia com o processo de biofabricação empregado, bem como com as técnicas de manipulação celular, os tipos de células e parâmetros do processo, como a pressão de impressão, diâmetro da agulha, comprimento da agulha e viscosidade do meio de distribuição (LI *et al.*, 2015; BLAESER *et al.*, 2016).

2 | OBJETIVOS

Por meio de simulações de dinâmica computacional de fluidos realizadas com software comercial (CFD Fluent®, ANSYS), objetivou-se analisar diferentes geometrias projetadas para o bico de extrusão de uma bioimpressora. Variando-se o ângulo de convergência, o comprimento, o diâmetro de entrada e o diâmetro de

saída do bocal, buscou-se investigar as tensões de cisalhamento causadas pela passagem da biotinta pelo bocal estreito.

3 | METODOLOGIA

O escoamento da biotinta pelo bocal da bioextrusora apresenta simetria radial, portanto, é considerado um escoamento axissimétrico, possibilitando a modelagem bidimensional. Dessa forma, diferentes modelos bidimensionais de geometrias de bicos cônicos foram desenvolvidos no Rhinoceros® 5.0 (McNeel North America, Seattle, WA), variando o ângulo de convergência, comprimento, diâmetro de entrada e diâmetro de saída (Figura 2). Estes dados estão apresentados na Tabela 1.



Figura 2 - Estruturas geométricas 2D dos bicos de bioimpressão.

Geometria	ângulo de convergência (cone) [°]	ângulo de convergência (agulha) [°]	comprimento (cone) [mm]	comprimento (agulha) [mm]	diâmetro (entrada) [mm]	diâmetro (saída) [mm]
1	43,60	4,98	10,0	20,0	2,00	0,26
2	43,60	4,55	10,0	20,0	2,00	0,41
3	48,46	2,29	10,0	10,0	1,00	0,60
4	48,46	1,15	10,0	20,0	1,00	0,60
5	48,46	0,57	10,0	40,0	1,00	0,60

Tabela 1 - Dados dos bicos de impressão.

Simulações do processo de extrusão foram realizadas utilizando o ANSYS FLUENT® 18.2 (ANSYS, Inc., Canonsburg, PA). Para obtenção das propriedades do fluido extrudado, considerou-se o trabalho de Dharmadasa (2016), cujo biomaterial utilizado consiste em celulose nanofibrilada e alginato, que exibe o comportamento

de um fluido não-newtoniano. Esta biotinta foi referenciada como *Ink6040* e modelada como um fluido com densidade igual a $998,2 \text{ kg.m}^{-3}$. O modelo *Power-Law* de viscosidade para fluidos não-newtonianos é o que melhor descreve o comportamento viscoso da biotinta *Ink6040*, dado por $\eta = k \cdot \dot{\gamma}^{n-1} e^{T_0/T}$

$$\eta = k \cdot \dot{\gamma}^{n-1} e^{T_0/T} \quad (1)$$

onde k é o índice de consistência, igual a $109,73 \text{ Pa.s}$, e n é o índice de comportamento, que indica o quanto o fluido se desvia do modelo newtoniano, e é igual a $0,154$. Dharmadasa (2016) assumiu a viscosidade da biotinta *Ink6040* como independente de temperatura, portanto $T_0 = 0$. Para simulação computacional, foi necessário ainda indicar os limites superior e inferior da viscosidade da biotinta, considerada por Dharmadasa como $\eta_{max} = 62 \text{ 200 Pa.s}$ e $\eta_{min} = 8,94 \times 10^{-4} \text{ Pa.s}$.

Adotou-se o escoamento laminar para a biotinta e as condições de contorno foram definidas como vazão mássica na entrada do bocal e pressão na saída. Com base na literatura (YEO *et al.*, 2016; JIA *et al.*, 2016; DUBBIN *et al.*, 2017; GÖHL *et al.*, 2018), determinou-se o valor de 50 microlitros por minuto para a vazão volumétrica da biotinta. O dado de entrada no ANSYS FLUENT® é a vazão mássica, que corresponde a $8,3183 \times 10^{-7} \text{ kg/s}$. A pressão de saída foi definida como 0 Pa (zero), por estar em contato com o ambiente, submetida à pressão atmosférica.

A demonstração de independência de malha é condição necessária para a validade de um resultado. Empregou-se, neste trabalho, o método da malha adaptativa para o refinamento, a partir do gradiente da derivada da taxa de deformação do fluido. A região de contato do fluido com a parede do bocal é a área de maior interesse, por apresentar maiores tensões de cisalhamento. Para garantir maior qualidade no refinamento da malha nesta região, aplicou-se o comando *inflation*, com três camadas em média, e uma taxa de crescimento igual a $1,1$. A qualidade ortogonal foi utilizada como referência para avaliar a malha gerada e buscou-se garantir valores mínimos acima de $0,3$.

4 | RESULTADOS

As tensões cisalhantes médias e máximas na parede do bocal foram obtidas a partir das simulações e os resultados organizados nas tabelas abaixo, de acordo com a geometria.

A primeira geometria analisada tende a apresentar tensão de cisalhamento média (*wall shear*) igual 113 Pa e valores máximos entre 330 e 355 Pa (Tabela 2).

Numero de elementos	<i>wall shear</i> [Pa]	valor máximo <i>wall shear</i>
37251	105,020	331,587
149004	112,919	350,680
596016	112,930	353,621
1487621	113,450	342,821
2806250	113,335	345,849

Tabela 2 - Resultados obtidos para a geometria 1.

O segundo bocal analisado tende a apresentar tensão de cisalhamento média igual 130 Pa e valores máximos entre 265 e 275 Pa (Tabela 3).

Numero de elementos	<i>wall shear</i> [Pa]	valor máximo <i>wall shear</i>
83152	105,662	273,999
160657	118,338	269,438
231840	131,000	267,487
561711	129,553	267,653
1453125	129,718	268,451

Tabela 3 - Resultados obtidos para a geometria 2.

A geometria 3 tende a apresentar tensão de cisalhamento média igual 105 Pa e valores máximos entre 220 e 260 Pa (Tabela 4).

Numero de elementos	<i>wall shear</i> [Pa]	valor máximo <i>wall shear</i>
52078	108,4190	222,736
208312	112,4850	238,509
587365	112,5240	250,400
833248	112,7880	255,671
1355216	112,9794	248,600

Tabela 4 - Resultados obtidos para a geometria 3.

A geometria 4 tende a apresentar tensão de cisalhamento média, aproximadamente, igual 120 Pa e valores máximos entre 220 e 265 Pa (Tabela 5).

Numero de elementos	<i>wall shear</i> [Pa]	valor máximo <i>wall shear</i>
61206	114,4650	221,533
153264	119,0760	238,338
354297	119,1630	250,627
613584	119,2030	251,846
1789956	119,5280	264,507

Tabela 5 - Resultados obtidos para a geometria 4.

O quinto bocal analisado tende a apresentar tensão de cisalhamento média igual a, aproximadamente, 138 Pa e valores máximos entre 220 e 270 Pa (Tabela 6).

Numero de elementos	<i>wall shear</i> [Pa]	valor máximo <i>wall shear</i>
73341	131,5910	225,772
189012	137,4550	241,818
423453	137,5970	254,487
726792	137,7440	255,579
1383915	138,0360	267,460

Tabela 6 - Resultados obtidos para a geometria 5.

Comparados os valores de tensão de cisalhamento média obtida através das simulações computacional para os bicos 1 e 2 observou-se que o aumento no diâmetro de saída levou a uma maior tensão de cisalhamento e comparando os bicos 3, 4 e 5 observou-se que o aumento do comprimento (agulha) também levou a um aumento da tensão cisalhante nos bicos de extrusão.

Blaeser *et al.* (2016) investigaram os efeitos em curto prazo e possíveis efeitos em longo prazo da tensão de cisalhamento induzida em células-tronco mesenquimais primárias humana, durante o processo de bioimpressão. Concluíram que, com o aumento da tensão de cisalhamento, a viabilidade celular imediatamente após a bioimpressão diminuiu significativamente. Tensões cisalhantes abaixo de 4 kPa conferiram viabilidade celular satisfatória, da ordem de 94%. O crescimento de células expostas a baixas tensões de cisalhamento, isto é, inferiores a 5 kPa, não foi afetado pelo processo de bioimpressão. Por outro lado, o crescimento celular foi fortemente afetado por níveis mais elevados de tensão de cisalhamento. Eles indicam também que níveis moderados de tensão de cisalhamento podem até estimular a proliferação celular, enquanto esse efeito é revertido quando certo limiar de estresse é excedido.

5 | CONCLUSÃO

Tendo em vista os resultados obtidos a partir dos métodos fluidodinâmicos computacionais, para as características da tinta em questão e para as geometrias analisadas, esse processo de bioimpressão por extrusão não oferece prejuízo para a viabilidade celular. Como as tensões cisalhantes médias apresentadas foram pequenas, isto é, muito inferiores a 4 kPa, é possível propor trabalhos com vazões ainda maiores e optar por agulhas mais finas, que conferem maior resolução ao tecido.

REFERÊNCIAS

- BAJAJ, P. *et al.* **3D Biofabrication Strategies for Tissue Engineering and Regenerative Medicine.** Annu Rev BiomedEng, 2014.
- BLAESER, Andreas et al. **Controlling Shear Stress in 3D Bioprinting is a Key Factor to Balance Printing Resolution and Stem Cell Integrity.** Advanced Healthcare Materials, 2016.
- DERNOWSEK, JA, REZENDE RA, SILVA JVL. **The role of information technology (IT) in the future of 3D biofabrication.** Journal of 3D Printing in Medicine, 1(1):1-18, 2017.
- DHARMADASA, Varuna. **Investigation of cell-viability in the bioprinting process.** Degree Project in Mechanical Engineering, Kth Royal Institute. Stockholm, 2016.
- DUBBIN, Karen; TABET, Anthony; HEILSHORN, Sarah. **Quantitative criteria to benchmark new and existing bio-inks for cell compatibility.** IOP Publishing, Biofabrication, 2017.
- GAO, Guifang; CUI, Xiaofeng. **Three-dimensional bioprinting in tissue engineering and regenerative medicine.** BiotechnologyLetters, vol. 37, n. 11, 2015.
- GÖHL, J. et al. **Simulations of 3D bioprinting: predicting bioprintability of nanofibrillar inks.** IOP Publishing, Biofabrication, 2018.
- GROLL J. et al. **Biofabrication: reappraising the definition of an evolving field.** Biofabrication. 8; 8(1):013001, 2016.
- HUANG, Y. *et al.* **3D bioprinting and the current applications in tissue engineering.** Biotechnology Journal, 2017.
- JIA, W. *et al.* **Direct 3D bioprinting of perfusable vascular constructs using a blend bioink.** Biomaterials, vol. 106 pa. 58-68. Elsevier, 2016.
- MINISTÉRIO da Saúde. **Transplantes de órgãos: uma luta contra o tempo para salvar vidas.** Governo do Brasil, 2017. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/editoria/saude/2017/09/transplantes-de-orgaos-uma-luta-contra-o-tempo-para-salvar-vidas>>. Acesso em 13 de jul. de 2018.
- MOTA, Carlos. **Sistema de Bioextrusão para a Engenharia de Tecidos.** Dissertação (Mestrado) – em Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro, 2008.
- SEOL, Y. *et al.* **Bioprinting technology and its applications.** European Journal of Cardio-Thoracic Surgery, pp. 1-7, 2014.
- YEO, M. *et al.* **Fabrication of hASCs-laden structures using extrusion-based cell printing supplemented with an electric field.** Acta Biomaterialia, vol. 38, p. 33-43. Elsevier, 2016.

APÊNDICE A – RESULTADOS NUMÉRICOS

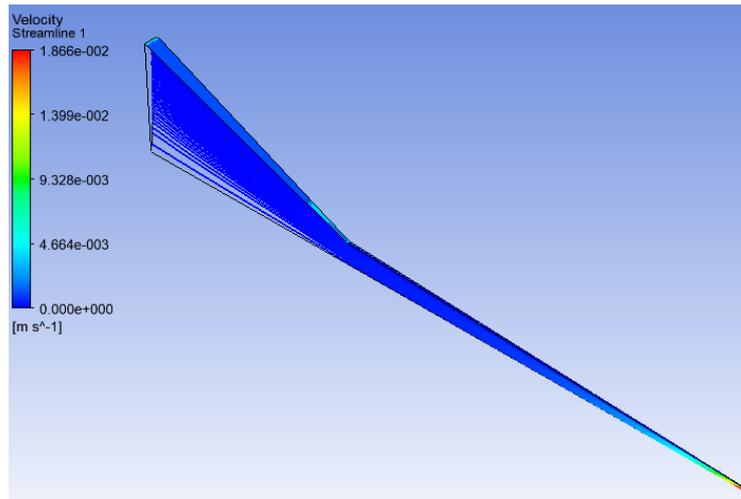


Figura 3 - Geometria 1: escoamento do fluido e tensão cisalhante na parede.

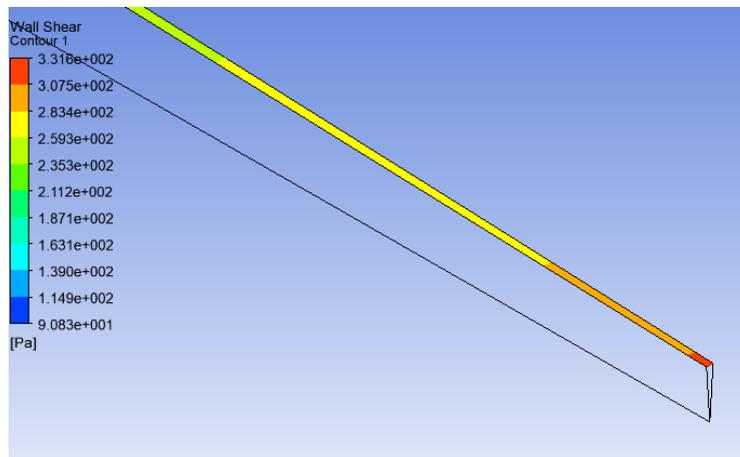


Figura 4 - Geometria 1: detalhe tensão cisalhante na parede.

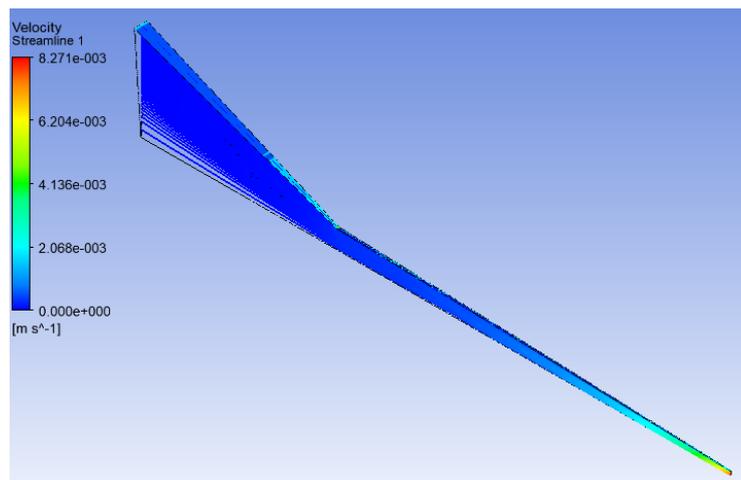


Figura 5 - Geometria 2: escoamento do fluido e tensão cisalhante na parede.

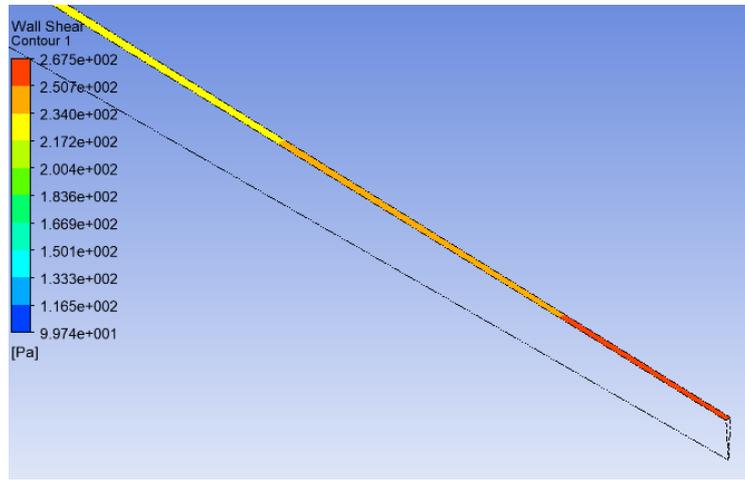


Figura 6 - Geometria 2: detalhe da tensão cisalhante na parede.

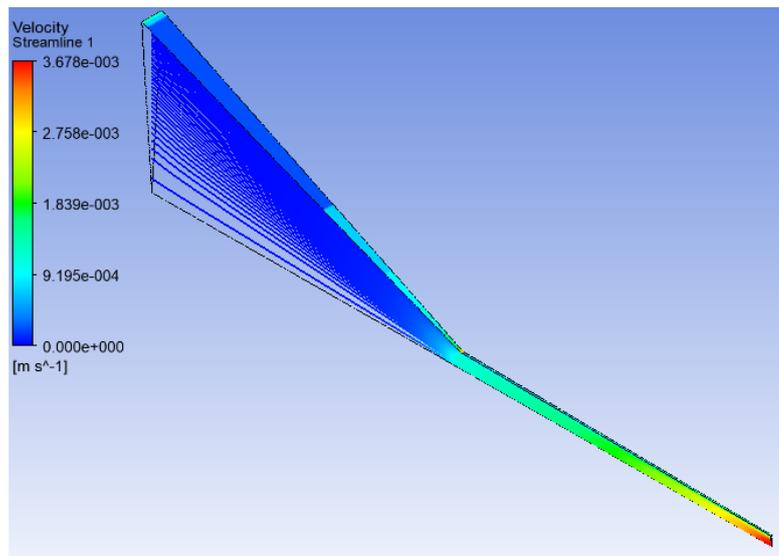


Figura 7 - Geometria 3: escoamento do fluido e tensão cisalhante na parede.

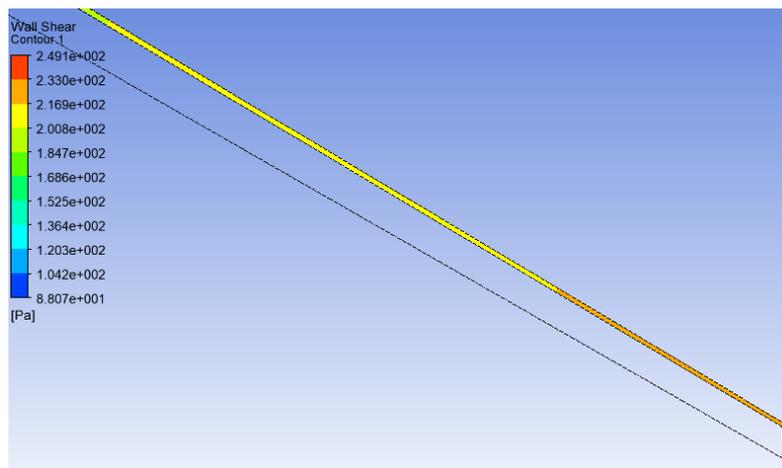


Figura 8 - Geometria 3: detalhe da tensão cisalhante na parede.

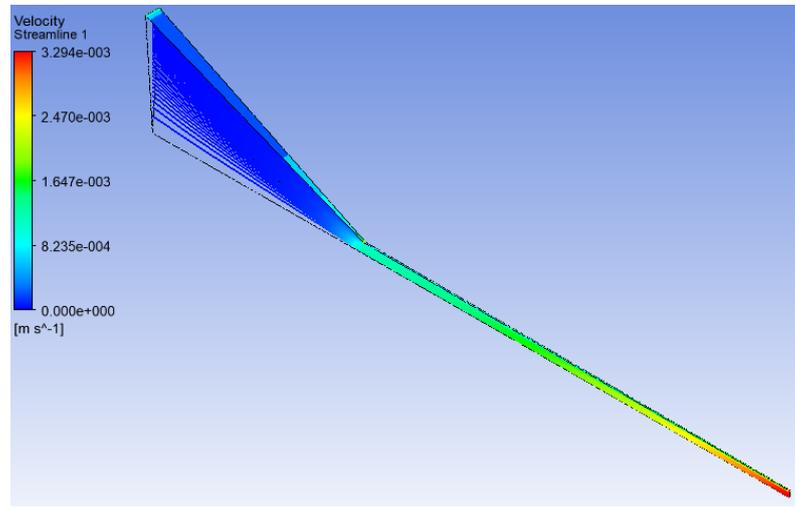


Figura 9 - Geometria 4: escoamento do fluido e tensão cisalhante na parede

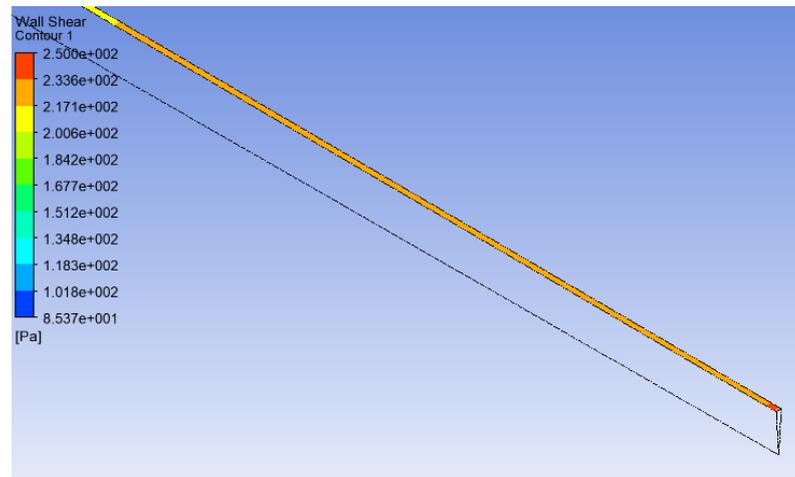


Figura 10 - Geometria 4: detalhe da tensão cisalhante na parede.

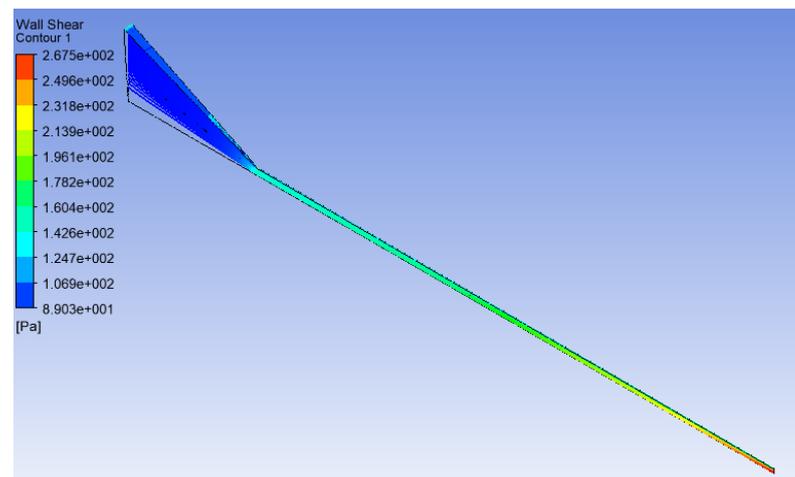


Figura 11 - Geometria 5: escoamento do fluido e tensão cisalhante na parede.

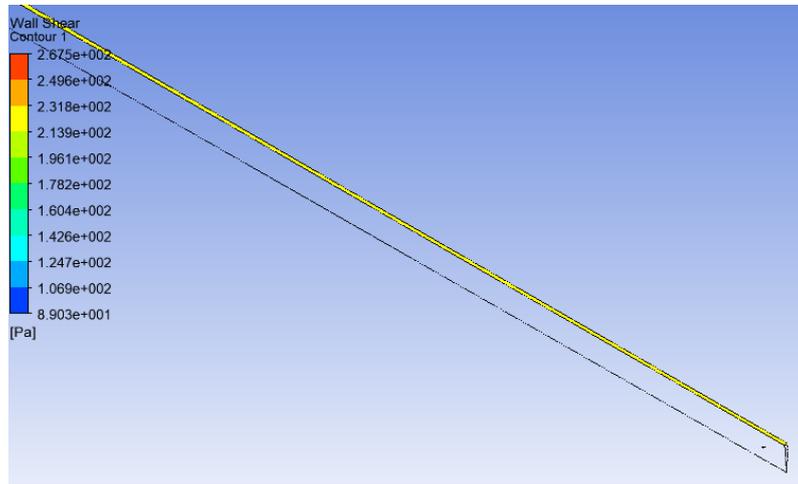


Figura 12 - Geometria 5: detalhe da tensão cisalhante na parede.

IMPACTO DA RESOLUÇÃO HORIZONTAL NA SIMULAÇÃO DOS JATOS DE BAIXOS NÍVEIS NA AMÉRICA DO SUL USANDO O MODELO GLOBAL DO CPTEC

Dayana Castilho de Souza

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos.

Cachoeira Paulista – São Paulo

Paulo Yoshio Kubota

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos.

Cachoeira Paulista – São Paulo

Silvio Nilo Figueroa

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos.

Cachoeira Paulista – São Paulo

Enver Manuel Amador Ramirez Gutierrez

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos.

Cachoeira Paulista – São Paulo

Caio Augusto dos Santos Coelho

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos.

Cachoeira Paulista – São Paulo

RESUMO: Os Jatos de Baixos Níveis (JBNS) ocorrem em uma estreita zona de ventos máximos localizada nos primeiros quilômetros da atmosfera (~1-2km acima da superfície). Na maioria das vezes o JBN está associado com um intenso gradiente horizontal e vertical de temperatura entre o continente e o oceano e com as grandes cadeias de montanhas. Os JBNS da América do Sul que são observados

a leste da Cordilheira dos Andes, são o principal mecanismo atmosférico responsável pelo transporte meridional de umidade da Bacia Amazônica para a região subtropical da América do Sul (AS). Portanto, neste trabalho avaliou-se a representação dos jatos de baixos níveis na América do Sul pelo novo modelo global do CPTEC BAM, durante os meses de verão (Dezembro-Janeiro-Fevereiro) do El Niño (DJF-1997/1998) e da La Niña (DJF-1998/1999). Os resultados são comparados com os dados da reanálise ERA-Interim do ECMWF. Com o objetivo de avaliar o impacto da resolução horizontal na simulação dos JBNS foram feitas 4 simulações com as seguintes resoluções TQ0062L028 (~180km), TQ0126L028 (~100km), TQ0213L042 (~60km) e TQ0299L042 (~45km). Assim, foi verificado que as simulações com resoluções espaciais de 45 e 60 km conseguem reproduzir melhor os JBNS que nas baixas resoluções 100 e 180 km. Este trabalho mostra que o modelo BAM pode representar melhor os JBNS quando utilizado com alta resolução horizontal. Verificou-se que existe uma relação entre JBN e eventos de El Niño e La Niña, e as condições dos sistemas meteorológicos de escala sinótica e regional atuantes na América do Sul.

PALAVRAS-CHAVE: Jatos de Baixos Níveis, América do Sul, BAM.

IMPACT OF THE HORIZONTAL RESOLUTION ON THE SIMULATION OF SOUTH AMERICAN LOW-LEVEL JETS USING THE GLOBAL MODEL OF CPTEC

ABSTRACT: The Low Level Jets (LLJs) occur in a narrow zone of maximum winds located in the first kilometers of the atmosphere (~1-2km above the surface). Most often the LLJs are associated with an intense horizontal and vertical temperature gradient between the continent and the ocean and with the great mountain ranges. The South American LLJs observed east of the Andes Mountains are the main atmospheric mechanism responsible for the southward moisture transportation from the Amazon Basin to the subtropical region of South America (SA). Therefore, this work evaluated the representation of LLJs over South America in the new global CPTEC model (BAM), during the summer months (December-January-February) of the El Niño (DJF-1997/1998) and the La Niña (DJF-1998/1999). The results are compared with ECMWF ERA-Interim reanalysis data. In order to evaluate the impact of horizontal spatial resolution in the simulation of the LLJs, 4 simulations were performed with the following resolutions: TQ0062L028 (~ 180km), TQ0126L028 (~ 100km), TQ0213L042 (~ 60km) and TQ0299L042 (~ 45km). Thus, it was verified that the simulations with spatial resolutions of 45 and 60 km can reproduce better the LLJs than in the low resolutions 100 and 180 km. This work shows that the BAM model can better represent the LLJs when run with high horizontal spatial resolution. The relationship between LLJs and El Niño and La Niña events, and the regional scale and synoptic meteorological systems conditions operating in South America have been identified.

KEYWORDS: Low Levels Jets (LLJs), South America, BAM.

1 | INTRODUÇÃO

O principal mecanismo atmosférico responsável pelo transporte meridional de umidade da Bacia Amazônica para a região subtropical da América do Sul (AS) são os Jatos de Baixos Níveis (JBNS), e estão localizados a leste da Cordilheira dos Andes (10°S-30°S). Portanto, os JBNS são grandes influenciadores do regime do clima e a intensidade de precipitação nesta região.

De modo geral, os JBNS ocorrem em uma estreita zona de ventos máximos localizada nos primeiros quilômetros da atmosfera (~1-2 km acima da superfície), na maioria das vezes os JBNS estão associados com um intenso gradiente horizontal e vertical de temperatura entre o continente e o oceano e com as grandes cadeias de montanhas (STENSRUD, 1996). Na AS os JBNS estão associados à forçante mecânica gerada pelos Andes que bloqueia e deflete os ventos alísios de baixos níveis originários da região do Atlântico equatorial para a região subtropical do continente na AS (CAMPETELLA; VERA, 2002; GANDU; GEISLER, 1991).

A compreensão dos processos físicos relacionados aos JBNS é muito importante para a previsão de tempo e clima, pois é através deste sistema meteorológico que ocorre à interação de escala, onde a energia de fenômenos meteorológicos de escala

diurna interage com a energia dos fenômenos meteorológicos de escala climática. Esta troca de energia entre as escalas é importante na definição do clima (CARLOS, 2006).

Os modelos numéricos de previsão de tempo e clima são as ferramentas mais comuns utilizadas para analisar o impacto dos JBNs nas várias escalas de tempo. Entretanto, mesmo com o aumento da resolução horizontal e vertical dos modelos nos últimos anos, algumas questões precisam ser exploradas. O aumento de resolução horizontal e vertical propicia aos modelos numéricos representar fenômenos do escoamento dinâmicos da atmosfera em escalas mais realistas, mas há dúvidas se as parametrizações dos processos físicos estão adaptadas para estas escalas. As taxas de momentum, aquecimento e umedecimento calculadas nas parametrizações físicas podem não representar o que ocorre na atmosfera real, pois as parametrizações físicas de alguns processos físicos que ocorrem na superfície e na atmosfera terrestre podem não ser bem representadas nos atuais modelos atmosféricos, influenciando direta ou indiretamente no desenvolvimento dos sistemas meteorológicos. Estes processos físicos que não trabalham bem em diferentes escalas simuladas pelas dinâmicas do escoamento dos modelos podem prejudicar a fonte e sumidouro de umidade e conseqüentemente o transporte de umidade.

O novo core dinâmico do modelo global atmosférico global do CPTEC (BAM) foi desenvolvido nos últimos anos e entrou em operação em janeiro de 2016, após sua validação para a previsão de tempo 1-7 dias (FIGUEROA et al., 2016). Entretanto, as validações preliminares deste modelo para a previsão de clima sazonal (3-6 meses), mostraram deficiência na correlação de anomalia de precipitação sobre algumas regiões do Brasil. A partir do ano de 2017, novas parametrizações físicas de convecção profunda (Arakawa Simplificado, a versão modificada de Grel-Denveyi ensemble) e de camada limite (pbl-seca e pbl-úmida) foram implementadas no modelo BAM. A evolução do BAM para a previsão de clima sazonal, também está relacionada ao trabalho de calibração e modificação dos esquemas convectivos e turbulentos implementados ao modelo BAM. Esta nova versão do modelo BAM possui uma considerável melhora para a previsão de tempo e de clima sazonal de 1 a 6 meses (KUBOTA et al., 2016; SOUZA et al., 2017).

As melhorias realizadas nas parametrizações físicas de processos convectivos e turbulentos proporcionaram ao modelo BAM uma representação mais realista dos sistemas atmosféricos atuantes direta e indiretamente sobre AS. A representação mais realista dos sistemas atmosféricos foi fundamental para a melhora das previsões de tempo e de clima. Entretanto, não se sabe qual o efeito nos sistemas atmosféricos, quando se força o modelo BAM com uma representação espacial dos fenômenos físicos em diferentes escalas. Assim, é preciso analisar qual a real sensibilidade do modelo BAM com as novas parametrizações físicas de convecção e turbulência em diferentes resoluções espaciais, e verificar se existe uma melhora na

simulação dos sistemas atmosféricos, devido à sensibilidade das parametrizações físicas do modelo BAM com diferentes resoluções. Portanto, neste trabalho avaliou-se a representação dos jatos de baixos níveis na América do Sul pela nova versão do modelo global do CPTEC BAM, em modo clima, durante os meses de verão (Dezembro-Janeiro-Fevereiro) do El Niño (DJF-1997/1998) e da La Niña (DJF-1998/1999) utilizando diferentes configurações de resolução vertical e horizontal.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foi utilizada a nova versão do modelo BAM com as novas parametrizações de convecção e turbulência calibradas para a AS. As modificações e calibrações realizadas no modelo BAM na parte convectiva foram: (1) no cálculo do impacto no momentum devido ao gradiente de pressão gerado por células convectivas, (2) modificação dos parâmetros relacionados ao cálculo do entranhamento e detranhamento, (3) uma nova metodologia do cálculo de fração de nuvens baseada nas funções Probability Distribution Function (PDFs) (4) os cálculos das propriedades óticas passaram a ser baseados nas variáveis prognósticas de água líquida e gelo. Na parte dos processos turbulentos da PBL-ÚMIDA (BRETHERTON; PARK, 2009) foram modificados: (1) o cálculo da interação da nebulosidade estratiforme com o coeficiente de difusão vertical e (2) foi implementada uma nova equação para o cálculo da pressão de vapor de saturação.

O modelo usa como condição inicial da atmosfera os dados (temperatura, umidade, velocidade do vento, pressão de superfície, geopotencial de superfície) da reanálise do ERA-Interim (DEE et al., 2011) na resolução de $1.5^{\circ} \times 1.5^{\circ}$ e os dados de temperatura de superfície do mar (TSM) da NCEP/NOAA na resolução $1.0^{\circ} \times 1.0^{\circ}$, como condição de contorno inferior sobre os oceanos. A configuração do modelo BAM usada nas simulações está descrita na Tabela 1.

Dinâmica	Euleriano (Espectral)
Convecção Profunda	Arakawa Schubert simplificado calibrada no CPTEC (HAN; PAN., 2011)
Convecção Rasa	Tiedke (TIEDKE, 1989)
Microfísica	Morrison (MORRISON, 2005)
Camada Limite Planetária	PBLúmida (BRETHERTON; PARK, 2009)
Pluma térmica	THERMALCEL (RIO; HOURDIN, 2008)
Arrasto de onda de gravidade	GMB (KIM; DOYLE, 2005)
Superfície	IBIS-2.6-CPTEC(KUBOTA, 2012)

Radiação de onda Curta	CliRad (TARASOVA,2007)
Radiação de onda Longa	CliRad (TARASOVA,2007)

Tabela 1 - Configuração do modelo utilizado nas simulações.

Todas as simulações realizadas neste trabalho foram realizadas com o BAM utilizando os novos esquemas de convecção e processos turbulentos úmidos, para o período de setembro de 1997 a dezembro de 1999. Os experimentos para as diferentes resoluções horizontais podem também ser usadas tanto para tempo (T666) quanto para clima sazonal (T62, T126, T213 e T299) e resoluções verticais (L28, L42 e L64).

Com o objetivo de avaliar o impacto da resolução horizontal e vertical na simulação dos JBNs, os experimentos consistiram de 4 simulações com as seguintes resoluções TQ0062L028 (~180km e 28 níveis), TQ0126L028 (~100km e 28 níveis), TQ0213L042 (~60km e 42 níveis) e TQ0299L042 (~40km e 42 níveis). Os resultados das simulações foram comparados com dados mensais de reanálise do ERA-Interim (DEE et al., 2011) proveniente do *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) na resolução horizontal de 1.5° e dados mensais de precipitação do GPCP (ADLER et al., 2003; HUFFMAN et al., 2009) com resolução horizontal de 2.5° obtidas através do site da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Análises indicam que os campos de circulação são afetados substancialmente pela resolução espacial e vertical do modelo, em especial na circulação na baixa troposfera, e conseqüentemente na simulação dos JBNs. Os resultados das simulações com as diferentes configurações do modelo BAM são similares aos obtidos com os dados da reanálise do ERA-Interim. Assim, foram verificados que as simulações com resoluções espaciais de 40 e 60 km conseguem reproduzir espacialmente melhor os JBNs, em relação às simulações com baixas resoluções 100 e 180 km (Figuras 1 e 2). A análise dos resultados das simulações dos JBNs, para diferentes condições climáticas mostraram resultados muito interessantes. A partir das Figuras 1, 2 e 3, verificou-se que os JBNs foram mais intensos durante o período de El Niño em relação ao período de La Niña. Esta diferença dos JBNs entre o El Niño e La Niña pode estar relacionada ao escoamento dos ventos alísios de baixos níveis (~850 mb) que se originam no Atlântico Equatorial e são bloqueados e defletidos pelos Andes para a região subtropical do continente da AS. Em períodos de El Niño, a supressão da convecção na região Amazônica forçada pelo ramo descendente da célula de Walker pode facilitar o escoamento dos ventos alísios

de baixos níveis favorecendo os JBNs, o que não ocorreu em período de La Niña (Figuras 1 e 2). Este mesmo padrão de circulação também é obtido através dos dados da reanálise do ERA-Interim. No período de La Niña, a intensidade do JBNs foi fraca em relação período de El Niño, mas com o aumento da resolução do modelo BAM os JBNs nas simulações foram superestimados.

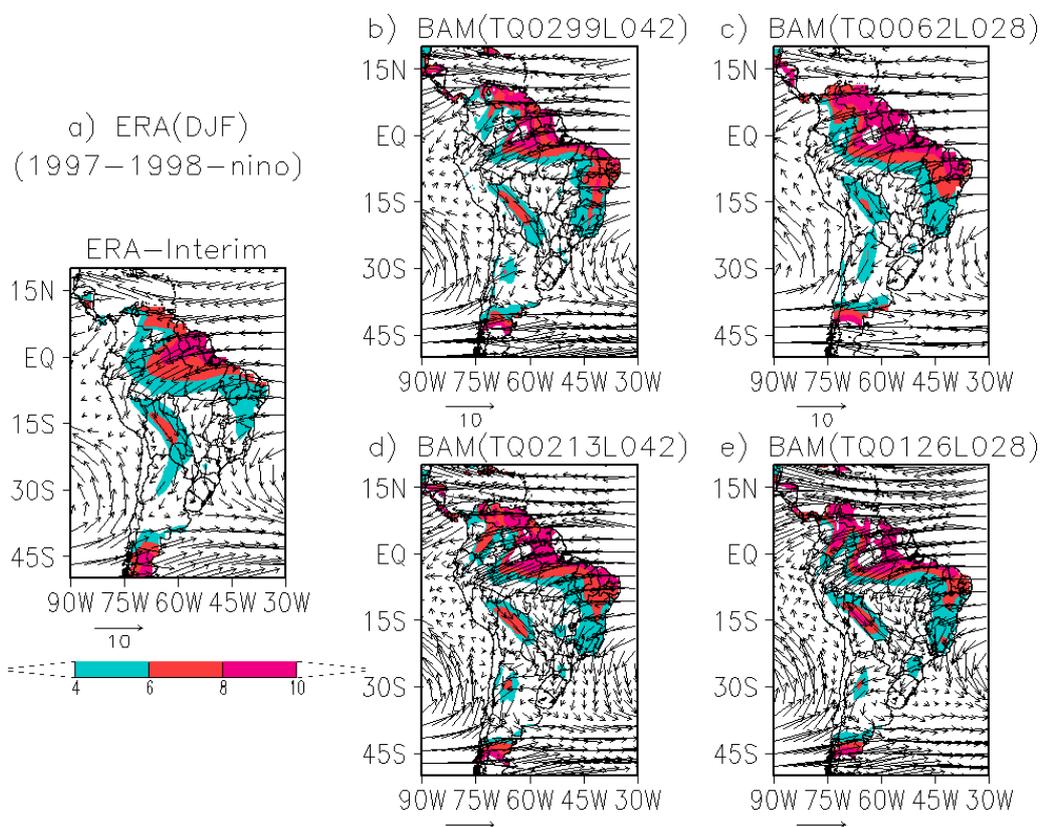


Figura 1 – Campos de circulação para o verão de 1997-1998 provenientes das resoluções TQ0062L028 (~180km), TQ0126L028 (~100km), TQ0213L042 (~60km) e TQ0299L042 (~40km).

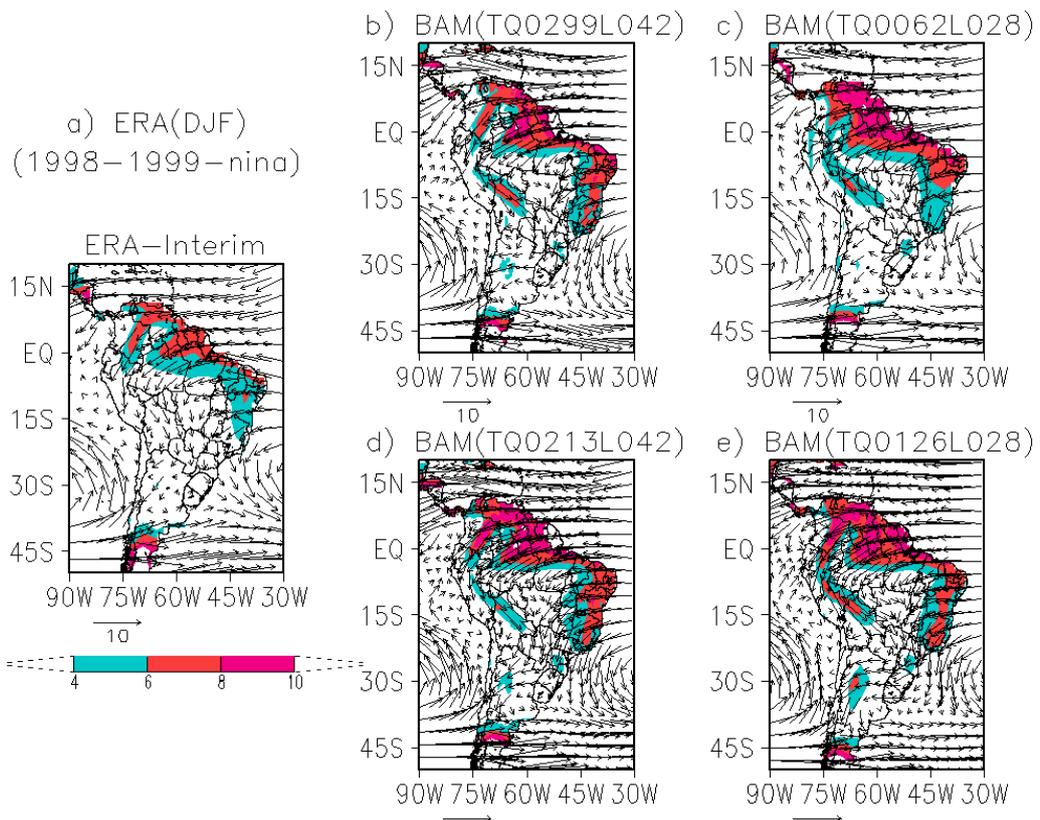


Figura 2 – Campos de circulação para o verão de 1998-1999 provenientes das resoluções TQ0062L028 (~180km), TQ0126L028 (~100km), TQ0213L042 (~60km) e TQ0299L042 (~40km).

A Figura 3 indica a intensidade do perfil vertical da média meridional do fluxo de umidade transportada pelos JBNs à leste dos Andes calculados com os dados do ERA-Interim, para o período El Niño (a) e La Niña (b), respectivamente. A intensidade do transporte de umidade pelos JBNs no período do El Niño é mais intensa propiciando um maior transporte de umidade para a região subtropical do continente da AS, favorecendo a precipitação nesta região (Figura 6a) e no período de La Niña (DJF-98/99), o transporte de umidade pelos JBNs reduz a sua intensidade e consequentemente a precipitação na mesma região (Figura 7a).

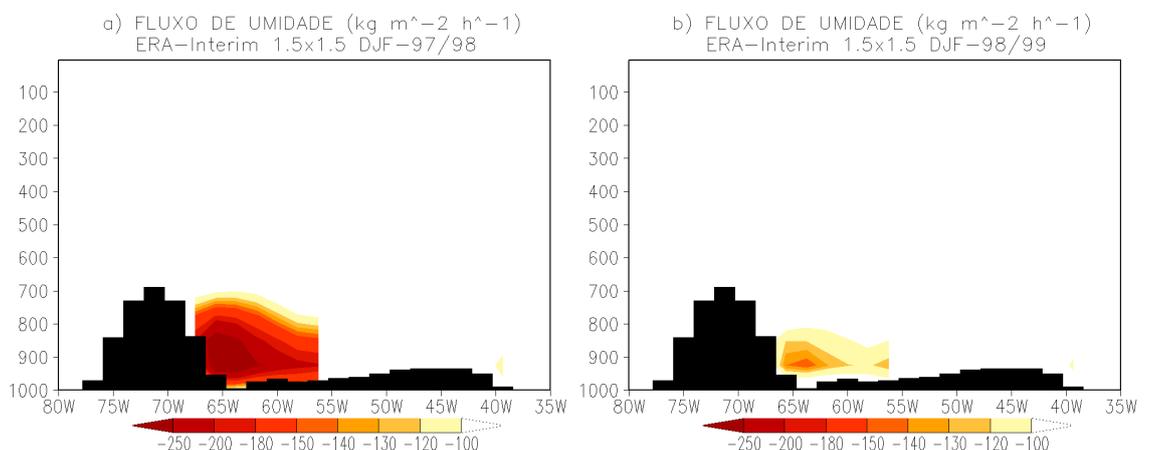


Figura 3 – Perfil vertical da media meridional do fluxo de umidade transportada pelos JBNs a leste dos Andes, calculada com dados do ERA-Interim para o período de El Niño (a) e para o

As Figuras 4 e 5 indicam a intensidade do perfil vertical da médio meridional do fluxo de umidade transportada pelos JBNs à leste dos Andes calculados com as simulações do modelo BAM para diferentes resoluções. Comparando com a Figura (3a) para o período de El Niño, verifica-se que o modelo BAM simulou satisfatoriamente a área do transporte de umidade realizada pelo JBNs, porém a intensidade foi subestimada. O aumento da resolução vertical e horizontal modula o transporte de umidade realizada pelo JBNs, entretanto não está claro se é o fator principal que modula a área e a intensidade do transporte de umidade realizada pelo JBNs. Os JBNs podem estar sofrendo outra influência de grande escala, influência de efeitos locais (turbulência, convecção) ou superficiais (balanço de energia e momentum) que dependem das parametrizações físicas.

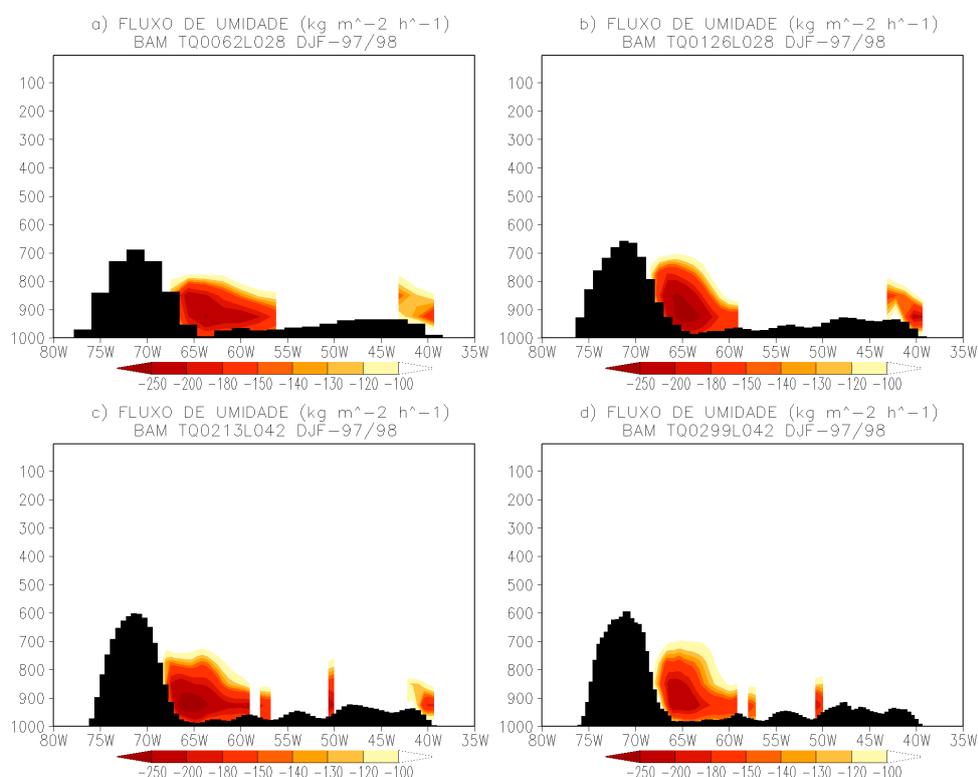


Figura 4 – Perfil vertical da media meridional do fluxo de umidade transportada pelos JBNs a leste dos Andes, calculada com dados do modelo BAM para diferentes resoluções para El Niño.

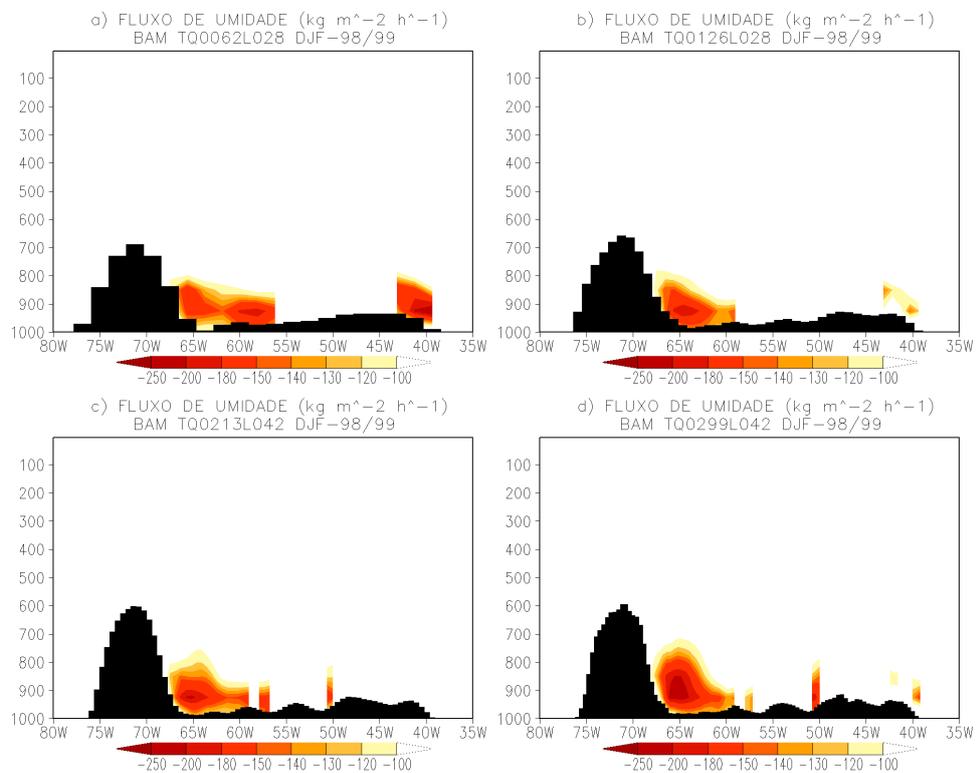


Figura 5 – Perfil vertical da media meridional do fluxo de umidade transportada pelos JBNs a leste dos Andes, calculada com dados do modelo BAM para diferentes resoluções para La Niña.

Comparando a Figura 3b para o período de La Niña (DJF-98/99), com os gráficos da Figura 5, verifica-se que o modelo superestima o transporte de umidade realizada pelo JBNs. Os resultados são contrários aos encontrados no período de El Niño, estes resultados da simulação indicam que a atividade convectiva na região Amazônica simulada pelo modelo BAM está fraca (Figura 7) e não remove uma quantidade suficiente de umidade da atmosfera. Este excesso de umidade é transportado pelos JBNs para a região subtropical do continente da AS.

Nas Figuras 6 e 7 estão os campos da distribuição espacial de precipitação para o período de El Niño e La Niña, respectivamente. Verifica-se no campo da distribuição espacial de precipitação gerado com os dados do GPCP que no período de El Niño (Figura 6a), a região Amazônica tem baixa precipitação e no nordeste da Argentina, Uruguai e sul do Brasil ocorre mais precipitação. No período de La Niña (Figura 7a) observamos maiores valores de precipitação na região Amazônica e há uma redução no nordeste da Argentina, Uruguai e sul do Brasil, sendo que a área onde ocorre a precipitação é deslocada para o sudeste do Brasil. Este padrão é definido pela mudança da circulação de grande escala. Nas simulações para o período de El Niño, verifica-se que a área no nordeste da Argentina, Uruguai e sul do Brasil tem mais precipitação em relação ao período de La Niña e a região Amazônica precipita menos. Porém, mesmo o transporte de umidade realizado pelos JBNs sendo bem simulado, a precipitação no nordeste da Argentina, Uruguai e sul do Brasil é subestimada e a área de maior precipitação é simulada mais para o sudeste do Brasil, quando

comparada com os dados do GPCP. Este padrão indica que as frentes frias podem ser mais intensas, favorecendo que cheguem até a região sudeste do Brasil ou muito fracas que não consigam avançar pelo continente, em relação as frentes observadas (não mostrado). Portanto, o resultado indica que existem outros processos físicos que ainda precisam ser melhores simulados. Nas simulações para o período de La Niña verifica-se que a região Amazônica tem baixa precipitação em relação ao dado do GPCP, este resultado da simulação pode explicar a superestimava do transporte de umidade realizado pelos JBNs para este período.

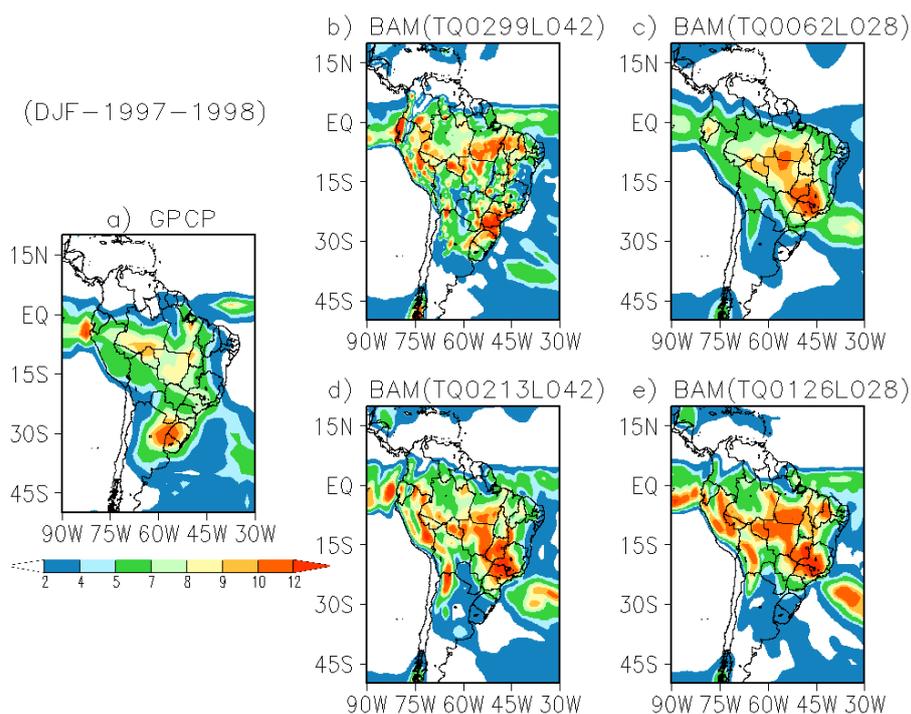


Figura 6 – Campos da distribuição espacial de precipitação para o período de El Niño provenientes das simulações com as resoluções TQ0062L028 (~180km), TQ0126L028 (~100km), TQ0213L042 (~60km) e TQ0299L042 (~40km).

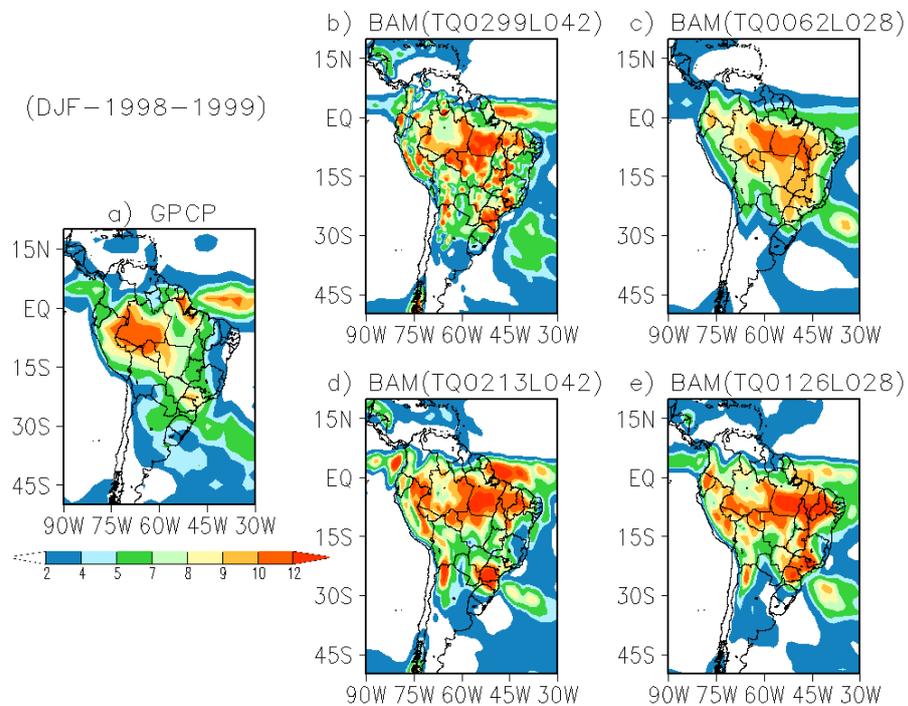


Figura 7 – Campos da distribuição espacial de precipitação para o período de La Niña provenientes das simulações com as resoluções TQ0062L028 (~180km), TQ0126L028 (~100km), TQ0213L042 (~60km) e TQ0299L042 (~40km).

4 | CONCLUSÕES

As análises dos resultados indicam que os campos de circulação são afetado substancialmente pela resolução espacial e vertical do modelo e pelos eventos de El Niño e La Niña, em especial a circulação na baixa troposfera, e conseqüentemente tem um impacto na simulação dos JBNs. A precipitação nos períodos de El Niño e La Niña influencia muito o transporte de umidade realizado pelos JBNs. Assim, verificou-se que as simulações com resoluções espaciais de 45 e 60 km conseguem reproduzir melhor os JBNs em relação as baixa resoluções 100 e 180 km.

De um modo geral, a simulação da precipitação sobre a América do Sul depende da resolução espacial e o transporte de umidade depende da intensidade de precipitação que ocorre na região Amazônica. O impacto da resolução horizontal e vertical na precipitação na região do nordeste da Argentina, Uruguai e sul do Brasil pode estar sendo enfraquecido pela deficiência do modelo em simular outros sistemas, como por exemplo, a intensidade das frentes frias que atuam no sul da AS.

Maiores análises precisam ser feitas e outras configurações necessitam ser testadas, para avaliar o impacto real dos processos físicos na distribuição espacial da precipitação. Porém, neste trabalho pode-se ver o impacto do aumento da resolução horizontal e vertical nos JBNs e o seu comportamento em relação à diferentes situações climáticas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de Pós – Doutorado à primeira autora e pela concessão de parte dos dados, viabilizada por Bárbara Alessandra G. P. Yamada.

REFERÊNCIAS

- ADLER, R. F.; HUFFMAN, G. J.; CHANG, A.; FERRARO, R.; XIE, P.; JANOWIAK, J.; RUDOLF, B.; SCHNEIDER, U.; CURTIS, S.; BOLVIN, D.; GRUBER, A.; SUSSKIND, J.; ARKIN, P.; NELKIN, E. **The version 2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP) monthly precipitation analysis (1979-present)**. *J. Hydrometeorol*, 4(6), 1147-1167. 2003.
- BRETHERTON, C. S.; PARK, S. **A new moist turbulence parameterization in the Community Atmosphere Model**. *J. Climate*, 22, 3422–3448, 2009.
- CAMPETELLA C.M.; VERA C.S. **The influence of the Andes Mountains on the South American low-level flow**. *Geophys Res Lett* 29(17):1826. doi:10.1029/2002GL015451, 2002.
- CARLOS F. M. et al. **Dynamics of resonantly interacting equatorial waves**, *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 58:2, 263-279, DOI: 10.1111/j.1600-0870.2006.00151.x, 2006.
- DEE, D. P. et al. **The ERA-interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system**. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v. 137, p. 553-597, 2011.
- FIGUEROA, S.N. et al **The Brazilian Global Atmospheric Model (BAM): Performance for Tropical Rainfall Forecasting and Sensitivity to Convective Scheme and Horizontal Resolution**. *Wea. Forecasting*, 31, 1547–1572, <https://doi.org/10.1175/WAF-D-16-0062.1>, 2016:
- GANDU A.W.; GISLER J. E. **A primitive equations model study of the effect of topography on the summer circulation over tropical South America**. *J Atmos Sci* 48:1822–1836, 1991.
- HAN, J.; PAN, H. **Revision of convection and vertical diffusion schemes in the NCEP Global Forecast System**. *Weather and Forecasting*, NOAA Institutional Repository. <https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/6970>, 2011.
- HUFFMAN, G. J.; ADLER, R. F.; BOLVIN, D. T.; GU, G. **Improving the global precipitation record: GPCP Version 2.1**, *Geophys. Res. Lett.*, 36, L17808, doi:10.1029/2009GL040000, 2009.
- SCHNEIDER, U.; BECKER, A.; FINGER, P.; MEYER-CHRISTOFFER, A.; RUDOLF, B.; ZIESE, M. **GPCC Full Data Reanalysis Version 7.0 at 0.5°: Monthly Land-Surface Precipitation**. Rain-Gauges built on GTS-based and Historic Data. DOI: 10.5676/DWD_GPCC/FD_M_V7_050, 2015a.
- KIM, Y.; DOYLE, J. D. **Extension of an orographic-drag parametrization scheme to incorporate orographic anisotropy and flow blocking**. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v. 131, p. 1893-1921, 2005.
- KUBOTA, P. Y. **Variabilidade de Energia Armazenada na Superfície e Seu Impacto na Definição do Padrão de Precipitação na América do Sul**. 2012. 285 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2012.

KUBOTA, P. Y. ; SOUZA, D. C.; RIVERO., S. N. F. **Relação entre a parametrização de nebulosidade e a precipitação simulada com o modelo BAM, sobre a américa do sul.** (Apresentação em poster)'. In: XIX Congresso Brasileiro de Meteorologia., 2016, João Pessoa-PB. XIX Congresso Brasileiro de Meteorologia., 2016.

MORRISON, H.; CURRY, J. A.; KHVOROSTYANOV, V. I. **A New Double-Moment Microphysics Parameterization for Application in Cloud and Climate Models. Part I: Description.** Journal of the Atmospheric Sciences, v. 62, p. 1665-1677, 2005.

RIO, C.; HOUDIN, F. **A Thermal Plume Model for the Convective Boundary Layer: Representation of Cumulus Clouds.** Journal of The Atmospheric Sciences. 2008.

STENSRUD, D.J. **Importance of Low-Level Jets to Climate: A Review.** *J. Climate*, 1996.

SOUZA, D. C.; KUBOTA, P. Y.; RIVERO, S. N. F.; RAMIREZ GUTIERREZ, E. M.A. **IMPACTO DA RESOLUÇÃO HORIZONTAL NA SIMULAÇÃO DOS JATOS DE BAIXOS NÍVEIS NA AMÉRICA DO SUL USANDO O MODELO GLOBAL DO CPTEC.** (Apresentação em pôster). In: VII Simpósio Internacional de Climatologia, Setembro, 2017, Petrópolis-RJ.

TARASOVA, T. A.; FOMIN, B. A. **The use of new parameterization for gaseous absorption in the CLIRAD-SW solar radiation code for models.** Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, v. 24, p. 1157-1162, 2007.

TIEDTKE, M. **A. comprehensive mass flux scheme for cumulus parameterization in large-scale models.** American Meteorological Society, v. 117, p. 1779-1800, 1989.

LESSON STUDY: UMA ADAPTAÇÃO PARA O BRASIL

Renata Camacho Bezerra

Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), Centro de Engenharias e Ciências Exatas – CECE, Câmpus de Foz do Iguaçu/PR
Foz do Iguaçu, Paraná

Maria Raquel Miotto Morelatti

Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Tecnologia - FCT, Câmpus de Presidente Prudente/SP
Presidente Prudente, São Paulo

RESUMO: A *Lesson Study* teve origem no Japão e é entendida como um processo formativo, no qual professores aprendem na prática, e tem a oportunidade de refletir, analisar, discutir e planejar suas aulas, tendo como foco a aprendizagem do aluno. As características principais são a reflexão e a colaboração, no entanto, no Brasil ainda é pouco conhecida. Este processo leva os professores a refletirem sobre a sua prática, por meio de um trabalho colaborativo entre os pares. Em países como a Espanha, Portugal e Estados Unidos, a *Lesson Study*, foi adaptada e é conhecida como uma metodologia, já no Brasil, há poucas experiências realizadas. Diante disso, este artigo tem como objetivo apresentar uma proposta que visa discutir a *Lesson Study* enquanto metodologia adaptada à realidade brasileira, a partir da experiência realizada em dois ciclos formativos

no contexto da *Lesson Study*, que é resultado da primeira tese de doutorado defendida a respeito do tema no Brasil.

PALAVRAS-CHAVE: *Lesson Study*. Formação de Professores. Colaboração. Reflexão. Matemática.

LESSON STUDY: AN ADAPTATION TO BRAZIL

ABSTRACT: The Lesson Study originated in Japan and is understood as a formative process, in which teachers learn in practice, and can reflect, analyze, discuss and plan their classes, focusing on student learning. The main characteristics are reflection and collaboration, however, in Brazil is still little known. This process leads teachers to reflect on their practice through collaborative work among peers. In countries such as Spain, Portugal and the United States, the Lesson Study has been adapted and is known as a methodology; in Brazil, there are few experiences. Therefore, this article aims to present a proposal that aims to discuss the Lesson Study as a methodology adapted to the Brazilian reality, based on the experience of two training cycles in the context of the Lesson Study, which is the result of the first doctoral thesis defended in this respect theme in Brazil.

1 | INTRODUÇÃO

Uma primeira versão deste artigo foi apresentada em 2018 no V Seminário Internacional de Pesquisa e Estudos Qualitativos – V SIPEQ no intuito de introduzir no Brasil uma sistemática para a discussão da *Lesson Study* enquanto metodologia para a formação de professores, seja ela inicial ou continuada, no contexto brasileiro.

A *Lesson Study* enquanto contexto formativo apresenta uma proposta de formação inicial/continuada de professores na qual se aprende, na ação de ensinar do professor, ou seja, na sua própria prática. O professor tem a oportunidade de refletir, analisar, discutir, planejar aulas tendo como foco, o conteúdo.

O ponto de partida e de chegada é a própria prática docente do professor.

Lesson Study é uma forma de desenvolvimento profissional ao longo da vida no qual as equipes de professores, colaborativamente, busca planejar, pesquisar e estudar uma aula que será ministrada a fim de decidir qual a melhor estratégia para que seus alunos possam melhor aprender aquele objeto do conhecimento. Assim, busca, na formação do professor reflexivo, a colaboração de cada um para que o grupo de docentes possa observar e planejar o ensino de um conteúdo escolar. (ARAGÃO; PREZOTTO; AFFONSO, 2015, p. 16117)

Em resumo, podemos afirmar que a *Lesson Study* corresponde a um processo formativo que leva os professores a refletirem, por meio de um trabalho colaborativo entre os pares, sobre a sua prática, tendo como foco a aprendizagem do aluno, por meio da escolha de um conteúdo matemático e suas características principais são a reflexão e a colaboração.

2 | LESSON STUDY NO BRASIL

A *Lesson Study* teve origem no Japão com o nome de “Jyugyo Kenkyu”, nos Estados Unidos foi traduzida como *Lesson Study*, em Portugal como “Estudos de Aula/Estudos de Lição”, na Espanha como “Estudio de Clases” e no Brasil tem sido utilizada como “Pesquisa de Aula/Estudo e Planejamento de Lições”. Sua origem no Japão remota do final do século XIX e início do século XX período que permaneceu isolada por quase um século.

[...] ao se aprofundar nas diferentes contribuições que ajudaram a consolidar esta proposta, encontramos raízes profundas em referências pedagógicas ocidentais que ainda continuam em pleno vigor: como a pesquisa-ação, a filosofia de ensino de Pestalozzi e até mesmo a aprendizagem baseada na experiência de Dewey. (SOTO GÓMEZ; PÉREZ GÓMEZ, 2015, p. 16, tradução nossa)

No Brasil, por carência de estudos aprofundados e pelo fato de que as poucas pesquisas que tivemos utilizaram a *Lesson Study* de maneiras diferentes, escolhemos chama-la de contexto de formação, mas em países como Estados Unidos, Portugal

e Espanha, nos quais as pesquisas já estão bem adiantadas a *Lesson Study* é caracterizada por etapas e fases definidas, sendo difundida como “Metodologia *Lesson Study*”.

A autora Bezerra (2017), por meio de sua tese, identificou apenas cinco trabalhos, sendo quatro dissertações de mestrado profissional e uma dissertação de mestrado acadêmico a respeito do tema no Brasil.

Os trabalhos defendidos a respeito do tema no Brasil no período de 2008 a 2017 são:

Em 2008, Patrícia Dutra Magalhães defendeu o mestrado profissional com o título “Desenvolvimento Profissional de Professores que Ensinam Matemática: o método Estudo e Planejamento de Lições nos contextos de escola e de ensino” no programa em Ensino de Ciências e Matemática na Pontifícia Universidade Católica de Minas em Belo Horizonte/MG.

Em 2010, Thiago Fagundes Felix defendeu o mestrado profissional “Pesquisando a Melhoria de Aulas de Matemática Segundo a Proposta Curricular do Estado de São Paulo, com a Metodologia da Pesquisa de Aulas (*Lesson Study*)” no programa em Ensino de Ciências Exatas na Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia em São Carlos/SP.

Em 2013, Luciano Alves Carrijo Neto defendeu o mestrado profissional “A Pesquisa de Aula (*Lesson Study*) no Aperfeiçoamento da Aprendizagem no 6º ano, segundo o Currículo do Estado de São Paulo”, no programa em Ensino de Ciências Exatas na Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, em São Carlos/SP.

Em 2014, Fellipe Gomes Coelho defendeu o mestrado acadêmico intitulado “A Metodologia *Lesson Study* na Formação de Professores: Uma Experiência com Licenciandos de Matemática” no programa em Ensino de Matemática, na Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Matemática, Rio de Janeiro/RJ.

Em 2015, Grace Zaggia Utimura defendeu o mestrado profissional “Docência Compartilhada na perspectiva de Estudos de Aula (*Lesson Study*): um trabalho com as figuras geométricas espaciais no 5º ano”, no programa em Ensino de Ciências e Matemática na Universidade Cruzeiro do Sul, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, São Paulo/SP.

E, em 2017, Renata Camacho Bezerra defendeu a primeira tese “Aprendizagens e Desenvolvimento Profissional de Professores que Ensinam Matemática nos Anos Iniciais do Ensino Fundamental no Contexto da *Lesson Study*” no programa de Educação na Universidade Estadual Paulista – UNESP campus de Presidente Prudente/SP.

O tema *Lesson Study* é emergente no Brasil e há várias pesquisas em andamento, no entanto ainda estamos no início quando nos comparamos a países como Estados Unidos, Espanha e Portugal.

3 | LESSON STUDY EM PORTUGAL, ESPANHA E ESTADOS UNIDOS

Apresentamos as etapas e fases da metodologia *Lesson Study* discutidas e trabalhadas em países como Portugal, Espanha e Estados Unidos, pois nestes países a mesma tem sido amplamente pesquisada e divulgada e serviram como base para os trabalhos que ocorreram no Brasil até o momento.

Como já dito anteriormente, em Portugal, Espanha e Estados Unidos a *Lesson Study* tem sido divulgada como uma “metodologia”, afinal após uma fase de adaptação à realidade local é possível dizer que nestes países está estabelecido um corpo de regras para o planejamento da aula baseada na *Lesson Study*, há um método que se define como um procedimento, técnica ou meio para se planejar uma aula de acordo com um plano pré-estabelecido.

De acordo com Bezerra (2017), em Portugal os autores Baptista; Ponte; Velez; Belchior; Costa (2012), Baptista; Ponte; Velez; Costa (2014) e Ponte; Quaresma; Baptista; Mata-Pereira (2014) resumem as fases da Metodologia *Lesson Study* como:

a) Planejamento da aula, no qual, inicialmente, define-se um tema/conteúdo matemático e escolhem-se as tarefas, para em seguida, planejar a sequência didática da aula com o intuito de se antecipar às dificuldades dos alunos, bem como, o raciocínio para a resolução da tarefa;

b) Observação da Aula, na qual a mesma é gravada/filmada/observada, pelos pares, no intuito de discutir as ações e reações (raciocínio) dos alunos e os procedimentos escolhidos pelo grupo de professores;

c) Reflexão pós-aula, na qual a aula é assistida e refletida em grupo e reelaborada caso necessário e ainda;

d) Procedimento pós-reflexão ou Seguimento que é quando, caso necessário, a aula é/ou pode ser realizada novamente por outro professor ou pelo mesmo em outra turma e, dessa forma, se repete o ciclo de discussão, observação e reflexão, buscando o aprimoramento da aula até que o grupo a considere satisfatória.

Na Espanha os autores Arévalo; Martínez; González (2011), baseado em Callejo; Valls; Llinares (2007) e ainda, Soto Gómez; Pérez Gómez (2011) definem os procedimentos da Metodologia *Lesson Study* da seguinte forma:

a) Primeiro define-se o problema;

b) Segundo planeja-se cooperativamente uma lição;

c) Terceiro ensina-se e observa-se a lição;

d) Quarto destaca-se as evidências da aula e na sequência discute-se no grupo de professores;

e) Quinto analisa-se e revisa-se a lição;

f) Posteriormente a análise e revisão da lição, a mesma deve ser desenvolvida em outra classe e observada novamente;

g) Por fim, temos novamente, discussões, avaliações e reflexões, a respeito das novas evidências.

Já nos Estados Unidos o autor Fujii (2014) citado por Takahashi e McDougal (2016) examinou como a *Lesson Study* foi praticada em alguns países africanos, apoiada por educadores japoneses e constatou que muitos aspectos praticados no Japão foram deixados de lado, fato que também, segundo o autor, ocorre nos Estados Unidos. Dentre os aspectos deixados de lado e que são considerados fundamentais na prática da *Lesson Study* no Japão, está a fase em que o contexto da *Lesson Study* ajuda os professores a adquirirem conhecimento e insights sobre a Matemática e o pensamento do aluno. A partir disso, os autores Takahashi e McDougal (2016) criaram um novo termo que constitui uma adaptação da *Lesson Study* nos Estados Unidos, que é a “Pesquisa de Lição Colaborativa” e, diante disso, definiram as fases da Metodologia, que são:

- a) Definir um objetivo claro de investigação;
- b) Revisão da literatura, estudo do conteúdo, pesquisa de materiais de ensino e discussão do pensamento dos alunos;
- c) Uma proposta de pesquisa escrita;
- d) Uma lição de pesquisa ao vivo e discussão da mesma;
- e) Debatedores externos conhecedores do tema e experientes – no mínimo dois, um para apoiar o desenvolvimento da proposta e outro para fornecer os comentários finais. Eles são pessoas com conhecimento e experiência e;
- f) Partilha dos resultados.

Conhecer e refletir a respeito de todas estas adaptações da *Lesson Study* foi importante para que diante da realidade brasileira e dos trabalhos já realizados pudéssemos propor uma adaptação da *Lesson Study* ao Brasil.

4 | LESSON STUDY: UMA PROPOSTA PARA O BRASIL

No Brasil, como dito anteriormente, por falta de estudos mais aprofundados, a *Lesson Study* tem sido entendida pela maioria dos pesquisadores como um contexto de formação, pois as poucas experiências realizadas no país até o momento, apresentaram diferentes adaptações para a *Lesson Study*.

Diante disso, este trabalho apresenta a proposta que pode vir a ser constituir a Metodologia *Lesson Study* adaptada ao contexto brasileiro, utilizada nos estudos e pesquisas já realizados por Bezerra (2017).

As etapas desenvolvidas no processo formativo e que podem vir a se constituir uma proposta para a “Metodologia *Lesson Study*” no Brasil são o Planejamento, a Realização da aula e a Reflexão e cada etapa é constituída de fases que permitem sua melhor execução com veremos a seguir:

ETAPA 1

Planejamento – momento em que conjuntamente os professores escolhem um conceito matemático e um objetivo para o preparo da aula. Esta etapa é subdividida

em várias fases.

a) Escolhe se o conteúdo, a série para o qual a aula será preparada e define se o objetivo para o preparo da aula;

b) Pesquisa se a respeito do conteúdo em documentos oficiais, livros didáticos, paradidáticos e outros;

c) Em grupo os professores estudam o conteúdo escolhido;

d) Os professores relatam uns aos outros, experiências nas quais tenham trabalhado em sala com o conteúdo escolhido;

e) Conjuntamente os professores pensam tarefas desafiadoras para o ensino do conteúdo escolhido;

f) Os professores procuram se antever ao raciocínio dos alunos em cada uma das tarefas elaboradas discutindo o grau de dificuldade e possíveis alterações;

g) Os professores em conjunto resolvem as tarefas elaboradas e caso necessário reformulam.

Caso os professores julguem pertinente nesta fase pode ser realizado uma tarefa diagnóstica com os alunos no qual será ministrada a aula de forma a identificar o nível da turma.

ETAPA 2

Realização da Aula – A aula é realizada por um professor do grupo e registrada por outros. É importante que haja o registro para que a aula seja discutida pelo grupo de professores. O registro pode ser feito por meio de vídeo, fotografia ou diário de campo, para embasar as reflexões posteriores.

ETAPA 3

Reflexão – Após a realização da aula com os alunos, os professores assistem as gravações, analisam as fotos, discutem as atividades realizadas pelos alunos e podem refletir sobre a aula elaborada em grupo, avaliar as dificuldades no processo de ensino e aprendizagem e sugerir modificações para aula, mediante as discussões/reflexões realizadas.

Na reflexão é avaliado não apenas se o objetivo inicial foi atingido, mas também quais os pontos fortes e fracos das estratégias utilizadas e como em uma próxima vez, a “aula” pode ser melhorada.

A busca é de construção coletiva de uma “boa aula” para se trabalhar um determinado conteúdo da Matemática, tornando-se para os professores envolvidos uma referência para uma próxima vez que forem abordar tal conteúdo. Não esperamos uma aplicação pura e simples de uma aula construída, mas sim, uma reflexão crítica de uma aula pensada e construída por diferentes professores, especificamente para o ensino de tal conteúdo.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Discutir a *Lesson Study* e apresentar uma proposta que pode vir a se constituir a Metodologia *Lesson Study* do Brasil é um processo importante, pois as pesquisas apontam que nos processos formativos por meio da *Lesson Study* é possível verificar que ocorre o desenvolvimento profissional do professor em vários momentos e a aprendizagem de conteúdo pode ser do aluno e do professor, mas há que se destacar o aspecto importante da colaboração e reflexão entre os pares durante todo o processo de construção e planejamento coletivo da aula.

A proposta de um método para se desenvolver o processo formativo pautado na *Lesson Study* apresentado neste artigo é ainda uma proposta e carece de mais pesquisas e de aprofundamento. E como toda proposta precisa ser debatida e refletida. E, embora tenha sido utilizada no Brasil no trabalho de Bezerra (2017), ainda é necessário aprofundar novos estudos que possam validar sua pertinência, bem como, propor possíveis adaptações.

REFERÊNCIAS

ARAGÃO, A. M. F.; PREZOTTO, M.; AFFONSO, B. F. Reflexividades e Parceria no Cotidiano da Escola: O Método de Formação Docente Lesson Study. In: XII Encontro Nacional de Educação, 2015, Curitiba/PR. **Anais XII EDUCERE**. Curitiba/PR: PUC, 2015. p. 16113- 16124.

ARÉVALO, E.; MARTÍNEZ, M.; GONZÁLEZ, R. A. Aprender a ensinar matemáticas en la escuela primaria a través del “Estudio de clases”. In: CONFERRÊNCIA INTERAMERICANA DE EDUCACIÓN MATEMÁTICA – IACME, XIII, 2011, Recife/PE. **Anais...** Recife/PE: Comitê Interamericano de Educação Matemática, 2011. p. 1-8.

BAPTISTA, M.; PONTE, J. P. da; VELEZ, I.; BELCHIOR, M.; COSTA, E. O Lesson Study como Estratégia de Formação de Professores a Partir da Prática Profissional. Encontro de Investigação em Educação Matemática. **Seminário de Investigação em Educação Matemática**, Portugal/PT, p. 493-504, 2012.

BAPTISTA, M.; PONTE, J. P. da; VELEZ, I.; COSTA, E. Aprendizagens Profissionais de Professores dos Primeiros Anos Participantes num Estudo de Aula. **Educação em Revista**. Belo Horizonte, Volume 30, outubro-novembro, p. 61-70, 2014.

BEZERRA, R. C.; MORELATTI, M. R. M. Lesson Study: Discutindo Princípios Para O Método. Anais: V Seminário Internacional de Pesquisa e Estudos Qualitativos – V SIPEQ. UNIOESTE Campus de Foz do Iguaçu, 2018. (<https://arquivo.sepq.org.br/v-sipeq/anais/>)

BEZERRA, R. C. **Aprendizagens e Desenvolvimento Profissional de Professores que Ensinam Matemática nos Anos Iniciais do Ensino Fundamental no Contexto da Lesson Study**. 2017. 210f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” UNESP, Presidente Prudente/SP, 2017.

CALLEJO, M.; VALLS, J.; LLINARES, S. El uso de videoclips para una práctica reflexiva. In: XIII JORNADAS DE APRENDIZAJE Y ENSEÑANZA DE LAS MATEMÁTICAS – JAEM, 2007, Granada/ES. **Anais...** Granada/ES: Jornadas de Actualización en Educación Matemática (JAEM). Granada/ES, 2007. p. 01-05.

CARRIJO, L. A. **A Pesquisa de Aula (Lesson Study) no Aperfeiçoamento da Aprendizagem no**

6º. Ano segundo o Currículo de São Paulo. 2013. 164 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências Exatas e Tecnologia), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos/SP.

COELHO, F. G. **A Metodologia Lesson Study na Formação de Professores: Uma Experiência com Licenciandos de Matemática.** 2014. 274 f. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Ensino de Matemática) – Instituto de Matemática, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/RJ.

FELIX, T. F. **Pesquisando a Melhoria de Aulas de Matemática Seguindo a Proposta Curricular do Estado de São Paulo, com a Metodologia da Pesquisa de Aula (Lesson Study).** 2010. 137 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências Exatas e Tecnologia), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos/SP.

FUJII, T. Designing and adapting task in Lesson planning: a critical process of Lesson Study. **ZDM: the international journal on Mathematics Education**, June 2016, 48(4), p. 411- 423, 2016. doi:10.1007/s11858-016-0770-3.

MAGALHÃES, P. D. **Desenvolvimento Profissional de Professores que Ensinam Matemática: o método Estudo e Planejamento de Lições nos contextos de escola e de ensino.** 2008. 116f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática), Pontifícia Universidade Católica de Minas, Belo Horizonte/MG.

PONTE, J. P.; QUARESMA, M.; BAPTISTA, M.; MATA-PEREIRA, J. Promover o desenvolvimento do raciocínio matemático: perspectivas de professoras num estudo de aula. In: BROCARD, J.; BOAVIDA, A. M.; DELGADO, C.; SANTOS, E.; MENDES, F.; DUARTE, J.; BAÍA, M.; FIGUEIREDO, M. (Eds.). **Tarefas Matemáticas: Livro de Atas do Encontro de Investigação em Educação Matemática.** Lisboa/PT: SPIEM, p. 337-352, 2014.

SOTO GÓMEZ, E. PÉREZ GOMEZ, A. Lessons Studies: un viaje de ida y vuelta recreando el aprendizaje comprensivo. **Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado.** 83 (29.2), p. 15-28, 2015.

TAKAHASHI, A.; McDOUGAL, T. Collaborative Lesson research: maximizing the impact of Lesson study. **ZDM: the international journal on Mathematics Education**, June 2016, 48(4), p. 513- 526, 2016. doi:10.1007/s11858-015-0752-x.

UTIMURA, G. Z. **Docência Compartilhada na perspectiva de Estudos de Aula (Lesson Study): um trabalho com as figuras geométricas espaciais no 5º ano.** 2015. 29 f. Produto Educacional (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Cruzeiro do Sul, São Paulo/SP.

MICROSCOPIA DE DESFOCALIZAÇÃO COMO UMA FERRAMENTA DE ESTUDO DE PROPRIEDADES MORFOLÓGICAS E MECÂNICAS DE ERITRÓCITOS

Paula M. S. Roma

Departamento de Física, Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal de Minas Gerais

Luiza C. Mourão

Departamento de Parasitologia, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais

Marcelo P. Bemquerer

Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia)
paulamagda@ufmg.br

Erika M. Braga

Departamento de Parasitologia, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais

Ubirajara Agero

Departamento de Física, Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal de Minas Gerais

RESUMO: A microscopia de desfocalização (MD) é uma ferramenta de microscopia óptica que tem sido empregada com sucesso para a avaliação de parâmetros morfológicos, químicos e mecânicos de objetos transparentes como os eritrócitos. Nesse sentido, já foi demonstrado, por meio dessa técnica, que proteínas de citoesqueleto de eritrócitos como a actina, as espectrinas e a proteína transmembranar banda 3 (um transportador do tipo antiporte de cloreto e bicarbonato) são possíveis alvos de tais anticorpos. Resultados de MD evidenciaram

que a adição de IgG anti-banda 3 e também de anticorpos presentes em plasmas de pacientes com malária causada por *Plasmodium vivax* promoveram uma diminuição significativa da amplitude média de flutuações, em nanoescala, em altura (*urms*) de membranas de eritrócitos. A redução de amplitude foi mais pronunciada em indivíduos anêmicos com malária quando comparados a pacientes não anêmicos. Deste modo, a microscopia de desfocalização é uma ferramenta diagnóstica de alterações morfológicas e mecânicas de eritrócitos, que pode ser empregada em investigação de efeitos de nanoestruturas sobre eritrócitos, podendo contribuir para a avaliação de segurança de nanoprodutos.

PALAVRAS-CHAVE: Microscopia de desfocalização; Flutuações nanométricas de membrana; Eritrócitos; Malária; Nanotoxicidade.

DEFOCUSING MICROSCOPY AS A TOOL TO INVESTIGATE THE MORPHOLOGY AND MEMBRANE FLUCTUATIONS OF RED-BLOOD CELLS

ABSTRACT: Defocusing microscopy (DM) is an optical microscopy tool that furnish morphological and mechanical parameters of transparent objects (pure phase objects) like the red-blood cell. Proteins imbibed in and associated to red-

blood cell membrane has been investigating as targets for IgG antibodies present in patients with malaria. Immunoproteomic data revealed that cytoskeletal proteins such as spectrin and actin, and the transmembrane chloride/bicarbonate anion exchanger protein (band 3) are possible targets of those antibodies. DM results showed that both anti-band 3 IgG and an anti-erythrocyte polyclonal antibody and antibodies present in the plasma of patients with malaria, either anemic or non-anemic, led to significant diminution of mean square intensity contrast fluctuation in the membrane. The reduction of membrane fluctuations was more pronounced for anemic patients than for those with malaria but non-anemic. Thus, one can use defocusing microscopy as a diagnostic tool for morphological and mechanical parameters of red-blood cells, including nanotoxicity studies.

KEYWORDS: Defocusing microscopy; Nanoscale membrane fluctuations; Red-blood cells; Malaria; Nanotoxicity

1 | INTRODUÇÃO

A microscopia de desfocalização é uma técnica de obtenção e análise de imagem que pode ser aplicada para objetos transparentes. Eritrócitos são objetos bastante apropriados para a análise por microscopia de desfocalização, fornecendo parâmetros morfológicos como o aspecto tridimensional, volume e área superficial e parâmetros mecânicos como a amplitude média da flutuação de membrana. Eritrócitos humanos submetidos a osmolaridades diferentes tornam-se esféricos em meios hipotônicos, sendo que o grau de esfericidade diminui gradativamente com o aumento da osmolaridade. As flutuações de membrana que existem em uma escala manométrica são reduzidas em qualquer condição de estresse osmótico, seja por aumento ou por diminuição da quantidade de água na célula (ROMA et al., 2016). A associação entre a malária e a anemia é uma área importante de investigação, uma vez que modificações na membrana do eritrócito não infectado podem ocorrer devido à ligação de anticorpos IgG produzidos durante a infecção. Investigações de imunoproteômica podem revelar as proteínas que se ligam a esses anticorpos, após a separação proteica em eletroforese bidimensional e identificação por espectrometria de massa (MOURÃO et al., 2016). Em um estudo realizado com pacientes infectados por *Plasmodium vivax*, a principal espécie causadora de malária no Brasil, verificamos que imunoglobulinas G purificadas de pacientes promoveram uma diminuição na amplitude média de flutuação de membrana de eritrócitos de indivíduo sadio. A diminuição foi mais pronunciada para os plasmas de pacientes anêmicos quando comparados aos pacientes que não desenvolveram essa manifestação clínica (MOURÃO et al., 2016). Eritrócitos são ainda empregados como células modelo para o ensaio de toxicidade de nanoestruturas. Estudos na área de nanotoxicidade mostraram que grafeno e óxido de grafeno promovem hemólise com a liberação de hemoglobina. Ensaio clássico de viabilidade celular

por meio do monitoramento óptico da redução do brometo de metilthiazolildifenil-tetrazólio (MTT) não puderam ser conduzidos devido às propriedades redutoras do grafeno e do óxido de grafeno (LIAO et al., 2016). Deste modo, a microscopia de desfocalização constitui uma ferramenta física promissora para a investigação do efeito de nanoestruturas sobre os eritrócitos, permitindo a avaliação de diversos parâmetros morfológicos e mecânicos em células individuais.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Imunoproteômica

Para a focalização isoeétrica, 100 µg do extrato de proteínas de membrana de hemácias humanas não infectadas do tipo O+ foram dissolvidos em 125 µL de solução de reidratação (ureia a 8 mol.L⁻¹, tiourea a 2 mol.L⁻¹, detergente CHAPS a 4% em massa, azul de bromofenol a 0,0025 % em massa, ditiotreitol a 65 mmol.L⁻¹ e anfólitos Bio-Lyte 3-10 buffer BioRad 1X). As amostras foram incubadas, sob agitação, durante 30 minutos, à temperatura ambiente, e então centrifugadas, a 16.000 g, durante 30 minutos, a 22 °C. A focalização isoeétrica consistiu nas seguintes etapas: 500 V por 30 minutos, 1.000 V por 30 minutos, 4.000 V por uma hora e 4.000 V até 16.000 V/hora. Após a focalização isoeétrica, as proteínas foram submetidas à eletroforese em gel de poliacrilamida (SDS-PAGE). A migração das proteínas foi realizada em um sistema do tipo Mini-Protean II (BioRad, Hercules, CA, EUA), a 50 V, por 30 minutos, e a 100 V até o final da corrida. Os géis foram transferidos para uma membrana de PVDF (Immun-Blot TM PVDF Membrane for Protein Blotting, 0,2 µm, BioRad), em tampão Tris a 25 mmol.L⁻¹, glicina 0,2 mol.L⁻¹, metanol 20% v/v, pH 8,5), por 2 h a 100 V. Os géis foram tratados com anticorpos de pacientes com malária, anêmicos e não anêmicos por 12 h, a 4 °C, sob agitação. Após o tratamento com um anticorpo secundário conjugado à peroxidase, a revelação das membranas foi feita utilizando-se 2 mL de *Immobilon TM Western Chemiluminescent HRP Substrate* (Millipore-Merck, Bilerica, MA, EUA). Procedida a análise de imagens, a digestão tripsínica das bandas proteicas correspondentes às proteínas reconhecidas pelos soros dos pacientes foi conduzida em uma solução contendo ACN (10% v/v) e NH₄HCO₃ 40 mol.L⁻¹, pH 8,0, durante 17 h a 37 °C. Os peptídeos obtidos foram identificados por sequenciamento de aminoácidos por espectrometria de massa (MALDI-ToF MS/MS, Autoflex, Bilerica, MA, EUA).

2.2 Microscopia de desfocalização

Os experimentos de microscopia de desfocalização foram conduzidos em um microscópio invertido modelo Nikon Eclipse TI, contendo um filtro que permitia a passagem de luz com comprimento de onda maior que 610 nm (NA 1.3, Nikon, Tokyo, Japan) e uma câmara ambiental (Chamlide ICCU:109, Live Instrument, Nowangu,

Coreia do Sul), mantida a 37 °C. As imagens das hemácias foram capturadas com uma câmera CMOS (CMOS, Silicon Video® 642M, Epix), utilizando-se uma taxa de captura fixada em 300 *frames* por segundo, durante 10 segundos. A distância focal foi controlada pelo equipamento *Nikon Perfect Focus System* (Nikon, Tokyo, Japan). Para o experimento, um volume de 0,5 µL de sangue fresco, retirado de indivíduo não anêmico e que não contraiu malária, foi ressuspenso em 1,0 mL de tampão fosfato a pH 7,4, contendo NaCl a 150 mmol.L⁻¹) e albumina de soro bovino 1,0 mg.mL⁻¹. Esta solução tem um índice de refração de 1,333 ± 0,001 e representa uma solução isotônica. A deposição dos eritrócitos no porta-amostras do microscópio foi conduzida a 37°C por 15 minutos. Então, imagens individuais de eritrócitos (dez células) foram registradas por 10 s. Imunoglobulinas G de plasmas de pacientes com malária, anêmicos e não anêmicos foram enriquecidos por cromatografia de afinidade (HiTrap™ Protein Column, GE Healthcare, Wauwatosa, WI, EUA). Foi ainda utilizado um anticorpo policlonal anti-hemácia [IgG *Anti human red blood cell (RBC) antibody* ABIN238043; antibodies online.com], cujo imunógeno consiste em hemácias humanas lavadas. Um anticorpo obtido contra um peptídeo sintético derivado da proteína transmembranal banda 3 foi obtido comercialmente. Um anticorpo que se liga a um antígeno de bacteriófago foi utilizado como controle negativo. Os anticorpos foram incubados com a suspensão de eritrócitos durante 30 minutos a 37 °C. A mesma célula foi analisada individualmente no microscópio invertido durante 10 s. A análise de dados foi conduzida com o programa computacional *ImageJ Plugins*, que forneceu os valores de flutuação quadrática média, antes e após a adição dos anticorpos. Medidas de flutuação de altura da membrana plasmática foram conduzidas a partir da equação que descreve a flutuação de contraste de intensidade quadrática média (ROMA *et al.*, 2016).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de imunoproteômica evidenciaram que os plasmas de pacientes com malária, anêmicos ou não anêmicos, reconheceram um número maior de proteínas na membrana do eritrócito quando comparados aos anticorpos de indivíduos controle, sem malária. Determinadas proteínas foram reconhecidas exclusivamente pelos anticorpos dos indivíduos com malária, tais como anquirina, dematina, proteína banda 7 e proteína 4.2. Verificou-se, ainda, que grande parte das bandas detectadas nos grupos com malária corresponderam às proteínas de citoesqueleto espectrina e actina (principalmente a beta), e à proteína transmembranal denominada de banda 3. A banda 3 é uma proteína presente na membrana do eritrócito que atua como catalisador de um transporte do tipo antiporte dos íons cloreto e bicarbonato. A banda 3 possui quatorze hélices que atravessam a membrana e regiões de ligação de anticorpos (REITHMEIER *et al.*, 2016). A evidência de que os anticorpos anti-banda

3 estavam aumentados nos plasmas de pacientes anêmicos, aliada ao fato de que essas imunoglobulinas têm sido associadas à remoção de hemácias senescentes em diferentes estudos (LUTZ et al., 2012), levou-nos a utilizar um anticorpo monoclonal comercial anti-banda 3 nos ensaios de microscopia de desfocalização. Utilizamos, ainda, um anticorpo policlonal comercial anti-hemácia e os soros de pacientes anêmicos e não anêmicos. Diferenças significativas foram ainda observadas quando comparamos as amplitudes médias das flutuações nanométricas (*urms*) das superfícies das hemácias antes e após a adição de anticorpos anti-banda 3 e anti-hemácia (Figura 1). Houve uma redução na *urms* após a adição do anticorpo IgG anti-banda-3 (*urms* antes: $21,33 \pm 3,75$ versus *urms* depois: $18,54 \pm 2,27$; $p = 0,0103$), o que também ocorreu em relação à adição do anticorpo IgG anti-hemácia (*urms* antes: $18,80 \pm 2,12$ versus *urms* depois: $11,39 \pm 4,71$; $p = 0,0078$). A adição de anticorpos purificados do plasma de pacientes não anêmicos e de pacientes anêmicos promoveu uma redução da flutuação de 11% (*urms* de $25,50 \pm 3,35$ para $22,66 \pm 2,80$ nm; $p = 0,0331$) e de 21% (*urms* de $24,01 \pm 5,16$ para $18,95 \pm 7,34$ nm; $p = 0,0007$), respectivamente. Em contrapartida, os anticorpos inespecíficos não causaram mudanças significativas nos parâmetros morfológicos e mecânicos dos eritrócitos.

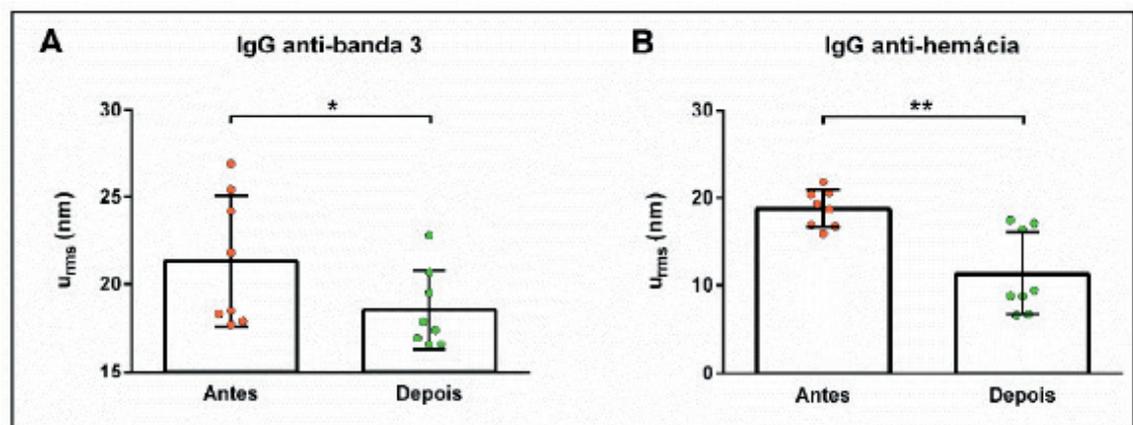


Figura 1. Avaliação dos efeitos dos anticorpos anti-banda 3 e anti-hemácia sobre a amplitude média de flutuações (*urms*) de membranas de eritrócitos. Os valores representam média e desvio padrão de medidas de oito células. $p^* = 0,0103$, $p^{**} = 0,0078$

4 | CONCLUSÃO

Os resultados de imunoproteômica e de microscopia de desfocalização convergem para sugerir que a proteína banda 3 possa ser um dos alvos de anticorpos nos plasmas de pacientes com malária, sendo que ambas as metodologias sugerem efeitos mais pronunciados em indivíduos anêmicos quando comparados com o grupo de pacientes anêmicos. O efeito dos anticorpos sobre o transporte antiporte de cloreto e bicarbonato no eritrócito está sendo investigado. Os resultados evidenciam que a microscopia de desfocalização é uma ferramenta de diagnóstico

de alterações celulares, que pode também ser empregada para a avaliação do efeito de nanoestruturas sobre objetos transparentes como os eritrócitos.

AGRADECIMENTOS

Embrapa, Capes, CNPq, FAPEMIG.

REFERÊNCIAS

LIAO, K.H et al. Cytotoxicity of graphene oxide and graphene in human erythrocytes and skin fibroblasts. *ACS Applied Materials and Interfaces*, v. 3, n. 7, pp. 2607-2615, 2011.

LUTZ, H.U. Naturally occurring anti-band 3 antibodies in clearance of senescent and oxidatively stressed human red blood cells. *Transfusion Medicine and Hemotherapy*, v.39, n. 5, p.321-327, 2012.

MOURÃO, L.C. et al. Anti-erythrocyte antibodies may contribute to anaemia in *Plasmodium vivax* malaria by decreasing red blood cell deformability and increasing erythrophagocytosis. *Malaria Journal*, v. 15, article number 397, 2016.

REITHMEIER, R.A.F. et al. Band 3, the human red cell chloride/bicarbonate anion exchanger (AE1, SLC4A1), in a structural context. *Biochimica et Biophysica Acta*, v. 1858, n. 7, pp. 1507-1532, 2016

ROMA, P.M.S. et al. Profiling of individual human red blood cells under osmotic stress using defocusing microscopy. *Journal of Biomedical Optics*, v. 21, n. 9, article number 090505, 2016.

PENSAMENTO ALGÉBRICO E SUA APLICAÇÃO EM EQUAÇÕES LINEARES

Fábio Mendes Ramos

Instituto Federal do Norte de Minas – IFNMG,
Departamento de Ensino
Januária – Minas Gerais

Fabricia Gracielle Santos

Instituto Federal do Norte de Minas – IFNMG,
Departamento de Ensino
Januária – Minas Gerais

Daniel Martins Nunes

Instituto Federal do Norte de Minas – IFNMG,
Departamento de Ensino
Januária – Minas Gerais

RESUMO: Este trabalho aborda um breve contexto histórico da álgebra e como defini-la. Descreve ainda o rigor matemático e a aplicação na física e na química dessa importante área da matemática. Aborda os conceitos de polinômios, equações polinomiais e sistemas de equações com o intuito de auxiliar no pensar algébrico. A metodologia utilizada para o desenvolvimento dessa pesquisa possui caráter qualitativo e baseou-se em revisão bibliográfica. Os objetivos desta abordagem são a aplicação da álgebra em conteúdos interdisciplinares e a formalização matemática com as ideias do cotidiano. Propõe-se, ainda, uma reflexão sobre o fato de que não se pode limitar a ideia da álgebra apenas a exemplos aplicáveis, uma vez que as propriedades da

álgebra não se restringem apenas ao concreto; e suas abstrações contribuem no pensar matemático. Conclui-se que, com a utilização da álgebra, é possível ensinar matemática a partir da resolução de problemas. Além disso, o método de abordagem da álgebra auxiliará os discentes na concretização do conhecimento algébrico, possibilitando uma melhor relação no ensino/aprendizagem.

PALAVRAS-CHAVE: Álgebra. Equações. Aplicações de Equações. Ensino de Matemática.

ALGEBRAIC THINKING AND ITS APPLICATION IN LINEAR EQUATIONS

ABSTRACT: This paper discusses a brief historical context of algebra and how to define it. It also describes the mathematical rigor and the application in physics and chemistry of this important area of mathematics. It discusses the concepts of polynomials, polynomial equations and systems of equations with the purpose of assisting in the algebraic thinking. The methodology used for the development of this research has a qualitative character and was based on a bibliographic review. The objectives of this approach are the application of algebra in interdisciplinary content and the mathematical formalization with the ideas of everyday life. It is also proposed a reflection on the fact that the idea of algebra cannot be limited only to

applicable examples, since the properties of algebra are not restricted only to concrete; And their abstractions contribute to mathematical thinking. It is concluded that, with the use of algebra, it is possible to teach mathematics from the resolution of problems. In addition, the method of approach to algebra will help students in the realization of algebraic knowledge, enabling a better relationship in teaching/learning.

KEYWORDS: Algebra. Equations. Applications of equations. Math teaching.

PENSAMENTO ALGÉBRICO

A álgebra designa a ciência das grandezas matemáticas que estuda equações e cálculos com variáveis e incógnitas, ambas representadas por letras. Por se preocupar com estudo das operações entre números e principalmente da resolução de equações, pode-se afirmar que se trata de uma ciência bastante antiga; visto que, tanto nas tabuletas de argila dos sumérios quanto nos papiros egípcios, encontramos problemas matemáticos que lidam com equações.

O conceito de álgebra está registrado no Dicionário Aurélio de Língua Portuguesa na seguinte acepção: Ferreira (1999) “Parte da matemática que estuda as leis e os processos formais de operações com entidades abstratas”. A álgebra está em constante desenvolvimento e o que a história nos mostra é que levaram-se anos para se desenvolver como a que conhecemos atualmente.

De acordo com a história, grande parte da álgebra que utilizamos atualmente deve-se ao matemático persa Mohammed ibn-Musa al-khwarismi (Mohammed, filho de Musa, natural de kwarizmi); responsável por mostrar a primeira fórmula geral para a resolução de equações.

O termo álgebra teria surgido da palavra árabe Al-jabr, escrita no século IX e derivada do título de sua obra “Al-jabr w'al-muqabala”, que significa Al-jabr (transferência dos termos ao outro membro da equação) e w'al-muqabala (cancelamento dos termos iguais de ambos os membros da equação). Esse livro apresentava métodos sistemáticos para a resolução de problemas de equações lineares e quadrática e é notório ressaltar que o termo algoritmo que usamos na matemática, hoje, também está relacionado a esse autor e emergiu da variação linguística al-khwarismi.

Apesar de o termo álgebra ter surgido no século IX, já se fazia o uso dela no mundo antigo. Embora não fosse empregada uma linguagem simbólica próxima da qual usamos atualmente. Graças a François Viète que os objetos estudados deixaram de ser problemas de valores numéricos e passaram a ser representados por expressões algébricas. Pela sua insistência em representar as notações através das letras ao invés de escrevê-las por extenso, codificou a matemática em linguagem simbólica. Para isso, utilizou-se das consoantes para empregar quantidades conhecidas e das vogais para as desconhecidas.

Muitos matemáticos, tanto da época atual quanto da antiguidade, contribuíram para a construção da álgebra atual. No entanto, foi Viète o primeiro a estudar as equações e suas propriedades, utilizando as letras como variáveis. Essa proposta foi posteriormente aprimorada por René Descartes que é o responsável por grande parte das simbolizações das expressões algébricas que encontramos hoje.

Apesar da álgebra estar presente em nosso cotidiano, é difícil conceituá-la. Isso porque não existe um consenso entre os matemáticos que proporcione uma definição precisa. Exemplos dessas contradições ficam evidentes nas afirmações de Lins e Gimenez (1997). Segundo esses autores, são elementos da álgebra: a equação, o cálculo literal, a função. Porém existem algumas divergências, pois alguns estudiosos incluem gráficos como parte da álgebra e outros não.

No livro “Equações de Ahmes até Abel”, Bekken comunga das ideias de Lanc e relata que é difícil definir álgebra nos dias atuais, devido as suas diversas modificações: “... nenhuma definição formal permanece válida por muito tempo já que a álgebra transforma continuamente, sobre as influências de ideias e problemas...” (LANC apud BEKKEN, 1994, p.11).

Nas concepções de Booth (2001), o foco da atividade algébrica é a natureza das respostas, estabelecendo procedimentos e relações, o que permite expressá-la de forma simplificada e generalizada. Portanto, uma visão equivocada e restrita da álgebra, é a afirmação de que ela se trata da resolução de problemas utilizando letras. Essa análise é muito superficial pelo contexto de sua importância. Porém, na educação básica, os professores de matemática utilizam-se dessa definição para que os alunos possam compreender a introdução dos conceitos da álgebra.

Por perceber a divergência dos autores e a complexidade da definição de álgebra, esse trabalho optou por focar nas resoluções de problemas pelas equações algébricas. Esse tipo de ideia na concepção de Lins e Gimenez (1997) diz respeito: “A versão mais banal dessa posição é a que descreve a atividade algébrica como calcular com letras”. Embora seja uma definição simplista, acreditamos que ela possa respaldar de maneira consistente o nosso trabalho.

Ainda, segundo Lins e Gimenez (1997), a álgebra deve ir ao encontro de um equilíbrio em três frentes: i) o desenvolvimento da capacidade de resolver problemas, de investigar e explorar situações; ii) o desenvolvimento de diferentes modos de produzir significados (pensar); e, iii) o aprimoramento das habilidades técnicas.

EQUAÇÕES ALGÉBRICAS

Define-se equações algébricas toda a igualdade da forma,

$$[1] \quad P(x) = a_0X_n + a_1X_{n-1} + \dots + a_{n-1}X + a_n = 0,$$

obtida igualando um polinômio inteiro a zero. Temos que $n \in \mathbb{N}$, o grau do polinômio também determina o grau da equação. A variável x é chamada de incógnita e os números $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$ de coeficientes numéricos da equação. Entende-se por raiz da equação todo o número tal que:

$$[2] a_0 x^n + a_1 x^{n-1} + \dots + a_{n-1} x + a_n = 0.$$

Nachbin (1971) afirma que boa parte da álgebra é definida ao estudar as propriedades dos conjuntos dos polinômios. E para Caraça (2003), o problema fundamental na resolução das equações algébricas é a determinação das suas raízes, ou seja, a resposta da equação.

As equações diofantinas do tipo $ax + by = n$ (com a, b e n inteiros) são equações polinomiais muito conhecidas nas quais só interessam soluções inteira ou racional. E de acordo com Hefez (2013) é necessário fazer o seguinte questionamento: “a) sob quais condições a equação admite soluções? Quando existem soluções, como determiná-las?” (HEFEZ, 2013, p. 102). Assim, obtemos as respostas através dos seguintes teoremas:

(1) Teorema 1 – A equação $ax + by = n$ admite solução se, e somente se, $(a, b) | n$.

(2) Teorema 2 – Seja x_0, y_0 uma solução particular da $ax + by = n$. Tem-se que x, y é uma solução da equação se, e somente se, $x = x_0 + t \cdot \frac{b}{(a,b)}$ e $y = y_0 - t \cdot \frac{b}{(a,b)}$, para algum t em \mathbb{Z} .

Diofanto contribui, ainda, para a formalização do teorema de Pitágoras ao atribuir no triplets pitagóricos a equação $x^2 + y^2 = z^2$ (por exemplo $3, 4, 5 \rightarrow 3^2 + 4^2 = 5^2 \rightarrow 9 + 16 = 25$) e inspirou a construção do teorema de Fermat $x^n + y^n = z^n$, para $n > 2$, que não admite soluções em inteiros positivos e isso foi demonstrado quase três séculos depois, por Andrew Wiles, com um manuscrito de quase 200 páginas.

É importante destacar que o objetivo dos estudos das equações algébricas é determinar uma relação de $P(x) = 0$, onde P é uma função polinomial. Esse tipo de equação é facilmente encontrada em nosso cotidiano. Veja um exemplo, retirado do livro “A matemática do ensino médio” elaborada por Lima (2006).

Cortando-se quadrados em cada canto de uma folha de papelão quadrada, com a cm de lado, e dobrando-se conforme a figura, obtém-se uma caixa retangular sem tampa. Qual deve ser o lado do quadrado a ser recortado para que o volume da caixa seja igual a V cm³? (LIMA, 2006, p.198)

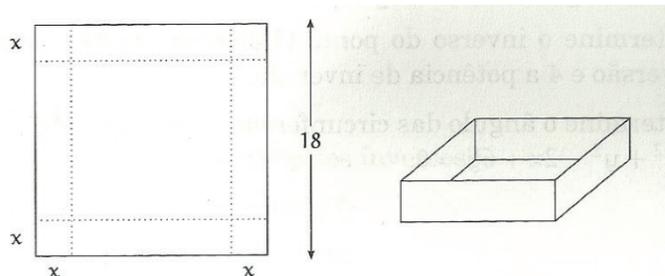


Figura 1 - Fonte: Lima, 2006, p.198

Nota-se que esse tipo de problema pode ser abordado de maneira que o aluno perceba sua aplicação no cotidiano, ou seja, de forma a relacionar o formalismo matemático às vivências do dia-a-dia das pessoas.

Suponhamos que a abordagem fosse da seguinte maneira: Com uma chapa metálica quadrada com **18** cm de lado, pretende-se construir um bebedouro para criação de galinhas. Para isso deve ser dimensionada uma caixa retangular com a capacidade de **400** ml. Logo deve-se recortar um quadrado de lado desconhecido em cada canto da chapa metálica. Qual deve ser o lado do quadrado desconhecido? Represente algebricamente o problema.

Perceba que, nas duas questões, a solução da equação será a mesma. Provavelmente um serralheiro com pouco conhecimento matemático conseguirá resolver os problemas na prática, porém teria alguma dificuldade em formalizá-lo matematicamente. Segundo Lins e Gimenez (1997), as pessoas possuem uma grande dificuldade de relacionar a matemática da escola com a matemática das ruas. Por isso, diante dessa dificuldade, ilustraremos a formalização matemática do problema supramencionado.

Ao recortar a folha de papelão como sugere a figura 1, a caixa terá as seguintes dimensões: **$18 - 2x$** , **$18 - 2x$** e **x** . Desse modo, temos o volume da caixa **$(18 - 2x) \cdot (18 - 2x) \cdot x$** , em que a condição para se obter a resolução do problema é expressa pela equação **$(18 - 2x)^2 x = 400$** , equivalente a expressão **$4x^3 - 72x^2 + 324x - 400 = 0$** . Simplificando-a temos **$x^3 - 18x^2 + 81x - 100 = 0$** . Nota-se que essa expressão é uma equação polinomial e que o valor de sua raiz real é a solução da expressão.

Outra abordagem de equações algébricas muito usada na álgebra moderna é a resolução de sistemas de equações lineares. Esta é muito utilizada na matemática aplicada (física, informática, engenharia, biologia, entre outras ciências).

Define-se como equação linear toda equação que pode ser escrita na forma:

$$[3] \ a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + \dots + a_nx_n = b,$$

na qual: **$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$** são as incógnitas; **$a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$** são números reais chamados coeficientes numéricos das incógnitas; **b** é o termo independente.

sistema

$$[6] \quad \begin{cases} a_1x + b_1y + c_1z = d_1 \\ a_2x + b_2y + c_2z = d_2 \\ a_3x + b_3y + c_3z = d_3 \end{cases}$$

de três equações com três incógnitas. Estas definidas em ordem de planos em termos de $(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z}) \in \mathbb{R}^3$ e a solução do sistema quando o ponto $\mathbf{P} = (\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z})$ pertence a interseção dos três planos, quando \mathbf{P} estiver simultaneamente em cada um dos três planos.

RELAÇÃO DE SISTEMAS DE EQUAÇÕES LINEARES E ALGUMAS APLICAÇÕES

Moran (2014) diz que é papel do professor conduzir o aluno na interpretação de dados, imagens e informações contidas no cotidiano e contextualizar as informações, além de mobilizar o discente, despertando o desejo de aprender. Nessa sessão do artigo mostraremos a aplicação de sistemas de equações lineares a partir dessa concepção.

A lei de Kirchhoff das correntes (LKC) estabelece que é nulo o somatório das correntes incidentes em qualquer nó de um circuito elétrico. Isso acontece devido ao fato de que o nó armazena corrente e a quantidade de corrente que chega em um nó é igual a quantidade de corrente que sai dele. Ou seja, a soma algébrica das correntes é sempre igual a 0,

$$[7] \quad \sum_{i=1}^n I_i = 0$$

Para melhor compreensão, ilustraremos um exemplo através da figura 2 a seguir:

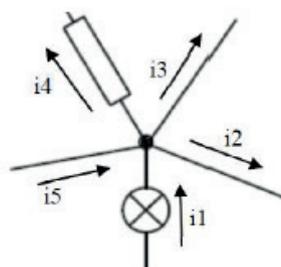


Figura 2 - Nó lei de Kirchhoff para corrente (LKC)

Nota-se, que as correntes i_1 e i_5 chegam ao nó e as correntes i_2, i_3 e i_4 saem do

nó, logo $i_1 + i_5 = i_2 + i_3 + i_4$. Assim a soma algébrica de $i_1 + i_2 + i_3 + i_4 + i_5 = 0$.

A lei de Kirchhoff das tensões (LKT), ou lei das malhas, estabelece que é nulo o somatório das quedas e elevações de tensão ao longo de um caminho fechado de um circuito elétrico. Ou seja, a soma algébrica das tensões, quedas e elevações de tensão ao longo de uma malha elétrica é igual a zero.

$$[8] \quad \sum_{i=1}^n V_i = 0$$

Temos que a tensão aplicada é igual a soma das quedas de tensão, seja V_a a tensão aplicada e $V_1 + V_2, V_3$ as quedas de tensão, logo $V_a = V_1 + V_2 + V_3$, ou seja, a soma algébrica de $V_a + V_1 + V_2 + V_3 = 0$. Como exemplo, vamos calcular a corrente na figura 3 a seguir:

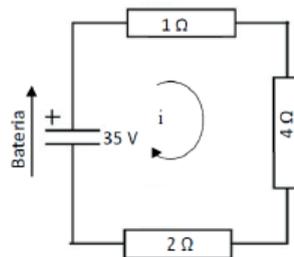


Figura 3 - Circuito de Malha

Resposta: Como a tensão pode ser calculada pela lei de Ohm onde $V = R \cdot I$ e utilizando a Lei de Kirchhoff das tensões (LKT), podemos dizer que $V_a = 35V$ e

$$V_1 = 1 \Omega \cdot i, V_2 = 4 \Omega \cdot i, \text{ e } V_3 = 2 \Omega \cdot i, \text{ se } V_a = V_1 + V_2 + V_3 \text{ temos } 35 = 1 \Omega \cdot i + 4 \Omega \cdot i + 2 \Omega \cdot i \Rightarrow 35 V - 1 \Omega \cdot i - 4 \Omega \cdot i - 2 \Omega \cdot i = 0 \Rightarrow 35 V - (1 \Omega + 4 \Omega + 2 \Omega)i = 0 \Rightarrow 35 V = 7 \Omega \cdot i \Rightarrow \frac{35 V}{7 \Omega} = i \Rightarrow i = 5 A.$$

Uma aplicação de sistemas de equações lineares em circuitos, retirada do livro de Nascimento (1989) apresenta uma situação interessante: “No circuito a seguir, $r_1 = 5,5 \Omega; r_2 = 4,5 \Omega; r_3 = 3,0 \Omega; R_1 = 0,5 \Omega; R_2 = 0,5, e_1 = 1,5v, e_2 = 1,5v$. . . determinar as correntes $i_1, i_2,$ e i_3 são tais que:”

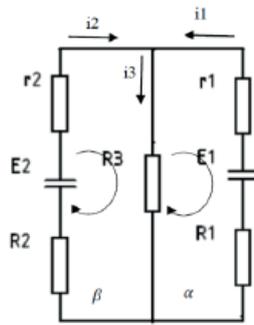


Figura 4 - Aplicação de sistemas linear em circuitos de malha

Fonte: (Adaptação: Nascimento, 1989, p. 75)

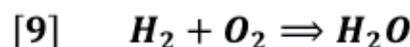
Solução: Utilizando a Lei de Kirchhoff, temos que $i_1 + i_2 - i_3 = 0$; e as malhas α : $R_1 + R_3 + r_1 = E_1$; β : $r_2 + R_3 + R_2 = E_2$, observando o circuito e substituindo os valores temos: α : $0,5i_1 + 5,5i_1 + 3i_3 = 1,5$ e β : $4,5i_2 + 0,5i_2 + 3i_3 = 1,5$. Utilizando esses dados podemos criar um sistema de equações lineares.

$$\begin{cases} i_1 + i_2 + i_3 = 0 \\ 6i_1 + 3i_3 = 1,5 \\ 5i_2 + 3i_3 = 1,5 \end{cases}$$

Resolvendo o sistema de equações lineares teremos: $i_1 = 0,12A$; $i_2 = 0,144A$ e $i_3 = 0,26A$.

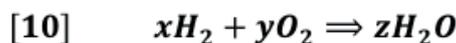
Outro exemplo de aplicação de sistemas de equações lineares muito frequente é na Química, a ciência que se dedica ao estudo da matéria, levando em conta a sua composição, as reações e as transformações.

Como podemos perceber, um comportamento químico é representado matematicamente através de fórmulas, que descrevem a composição atômica das moléculas. A fórmula química da água é H_2O que é composta por dois átomos de hidrogênio (**H**) e um átomo de oxigênio (**O**). Como o oxigênio em sua forma estável é composto de dois átomos representado por O_2 , teremos, então, sua representação não balanceada da seguinte forma:



Observa-se que os átomos de oxigênio reagem com os de hidrogênio gerando a água. Como quimicamente não existem frações de moléculas, os balanceamentos deverão acontecer apenas com números inteiros positivos. Os coeficientes que se encontram em frente aos símbolos químicos são conhecidos como coeficientes estequiométricos e, para obter esse equilíbrio, a relação do produto das moléculas

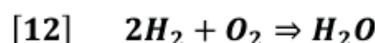
com os átomos deverá ser equivalente em ambos os membros. Dante (2006) propõe a substituição dos valores dos coeficientes estequiométricos do balanceamento químico [9] por letras, obtendo assim:



Gerando um sistema do tipo:

$$[11] \quad \begin{cases} 2x = 2z & (\text{hidrogênio}) \\ 2y = z & (\text{oxigênio}) \end{cases}$$

O sistema é possível e indeterminado e admite infinitas soluções para (x, y, z) , todavia o balanceamento deverá ser representado pelo menor valor numérico possível da molécula. Como a solução geral do sistema [11] é $(2a, a, 2a)$ a menor solução inteira positiva é $a = 1$. Logo $x = 2$, $y = 1$ e $z = 1$, e a equação balanceada será:



Entretanto, não se pode limitar a ideia da álgebra apenas a exemplos aplicáveis, uma vez que as propriedades da álgebra não se restringem apenas ao concreto e suas abstrações, mas também contribuem no pensar matemático. Lins e Gimenez (1997) afirmam que a atividade algébrica não é apenas “Cálculo Literal” e sua essência pode desenvolver nos estudantes um pensar algébrico no processo de desenvolvimento das notações algébricas.

De acordo com Polya (2006), para solucionarmos um problema é necessário a análise de quatro fases que são:

Primeiro, temos de compreender o problema, temos de perceber claramente o que é necessário. Segundo, temos de ver como os diversos itens estão inter-relacionados, como a incógnita está ligada aos dados, para termos a ideia da resolução, para estabelecermos um plano. Terceiro, executamos o nosso plano. Quarto, fazemos um retrospecto da resolução completa, revendo-a e discutindo-a. (POLYA, 2006, p.4)

Nesse sentido, para haver a compreensão da álgebra, não basta apenas matematizar os problemas; deve-se analisá-los como um todo, além de utilizar as fases de Polya como estratégia no processo de ensino aprendizagem.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a utilização da álgebra, o docente pode ensinar matemática a partir da resolução de problemas. Ao estimular o discente com problemas interdisciplinares, o professor possibilita a generalização da álgebra partindo do concreto.

O aluno é o detector de seu próprio conhecimento e o ensino da álgebra com aplicações favorece na construção de um pensamento lógico matemático, consolidando seu pensamento algébrico.

Assim consideramos importante que o professor de matemática consiga aplicar situações contextualizadas, como as que foram aqui apresentadas, em suas atividades docentes. Dessa forma, conduzindo os discentes a reflexão algébrica, importante para o seu aprendizado matemático.

REFERÊNCIAS

BEKKEN, Otto B. **Equações de Ahmes até Abel**. Rio de Janeiro: Universidade de Santa Úrsula - GEPEM, 1994.

BOOTH, Lesley R. Dificuldades das crianças que se iniciam em álgebra. In: COXFORD, Arthur F.; SHULTE, Alberto P. **As ideias da álgebra**. São Paulo: Atual, 2001.

CARAÇA, Bento de Jesus. **Conceitos Fundamentais da Matemática**. Lisboa: Gradiva 5ª edição, 2003.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. Álgebra. In: FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. **Aurélio Século XXI: o Dicionário da Língua Portuguesa**. 3. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1999.

HEFEZ, Abramo. **Iniciação à Aritmética**. Rio de Janeiro: IMPA, 2013. (Apostila 1 do Programa de Iniciação Científica Jr. da Olimpíada Brasileira de Matemática das Escolas Públicas - PIC-OBMEP).

LIMA, Elon Lages et al. **A Matemática do Ensino Médio**. 6. ed. Rio de Janeiro: SBM, 2006. v. 2.

LINS, Rômulo Campos; GIMÉNEZ, Joaquim. **Perspectivas em aritmética e álgebra para o século XXI**. Campinas: Papirus, 1997.

NACHBIN, Leopoldo. **Introdução à Álgebra**. Rio de Janeiro: McGRAW-HILL, 1971.

NASCIMENTO, Aquiles Leite; GARCÊS, Edina Santiago; LOVATEL, Theonesto. **Matemática para escolas técnicas industriais e centros de educação tecnológica: Matrizes Determinantes Sistemas Lineares**. Curitiba: Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, 1989.

MORAN, José Manoel. **Novas tecnologias e mediação pedagógica**. 21 ed Campinas, Papilus, 2014.

POLYA, G. **Arte de resolver problemas**. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.

ENSINO DE QUÍMICA VERSUS TICS: RETRATO DE PUBLICAÇÕES BRASILEIRAS

Eleonora Celli Carioca Arenare

Universidade Federal de Mato Grosso/UFMT-
Doutoranda do Programa de Pós-Graduação
da Rede Amazônica de Educação em Ciências
e Matemática-REAMEC/ Pólo UEA. Manaus –
Amazonas

RESUMO: Neste estudo foram catalogadas 22 dissertações de mestrado e 2 teses de doutorado, defendidas na área de concentração de Ensino de Química, catalogadas no Portal da Capes no período de 2012 a 2016, que foram analisadas de acordo com os seguintes descritores: ano de defesa e instituição, tipo de trabalho acadêmico, tipo de pesquisa, abordagem metodológica, nível de escolaridade e foco temático. Optou-se por uma categorização de cinco tópicos relacionando o Ensino de Química de acordo com o processo de ensino-aprendizagem descrito na produção acadêmica. Os resultados indicam uma maior necessidade de investigação e pesquisa na área de Concentração em Ensino de Química, conforme os seguintes focos temáticos, entrelaçados nas seguintes ferramentas metodológicas: recursos midiáticos (21%) software (21%), blogs (12%) vídeos (21%) e mapas conceituais (25%), evidenciando uma abordagem qualitativa/quantitativa em 62,5% dos trabalhos analisados.

PALAVRAS-CHAVE: Ensino de Química, TICs,

ensino-aprendizagem

TEACHING CHEMISTRY VERSUS TICS: PORTRAIT OF BRAZILIAN PUBLICATIONS

ABSTRACT: In this study, 22 dissertations and 2 doctoral theses were defended in the area of Chemistry Teaching, cataloged in the Portal of Capes in the period from 2012 to 2016, which were analyzed according to the following descriptors: year of defense and institution, type of academic work, type of research, methodological approach, educational level and thematic focus. We chose a categorization of five topics relating the teaching of chemistry according to the teaching-learning process described in academic production. The results indicate a greater need for research and research in the area of Concentration in Teaching of Chemistry, according to the following thematic focuses, intertwined in the following methodological tools: media resources (21%) software (21%), blogs (12%) videos (21%) and conceptual maps (25%), evidencing a qualitative / quantitative approach in 62.5% of the works analyzed.

KEYWORDS: Teaching Chemistry, TICs, teaching-learning.

1 | INTRODUÇÃO

Pesquisas relacionadas ao Estado da arte nos permitem a sistematização de toda a produção acadêmica desenvolvida sobre um determinado assunto em um período de tempo catalogado, desta forma constituem um marco na área em que se desenvolvem, contribuindo significativamente para a comunidade acadêmica e todos os profissionais envolvidos na temática analisada, referenciada na área de concentração em que são catalogadas. Estudos acerca do estado da arte são construídos e publicados em diversas áreas do saber, evidenciando um inventário significativo de conhecimentos que foram produzidos e socializados em pesquisas, em tempos e espaços em que se desenvolvem as discussões. (SILVA; NÓBREGA HERRIEN; FERREIRA, 2002; LEITINHO; DIAS, 2014).

Este trabalho especifica um recorde do estado da arte com relação a uma das metodologias bastante utilizadas por professores brasileiros, por contribuir para o envolvimento do aluno na relação do processo ensino-aprendizagem. As Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) que têm de certa forma, conduzido a humanidade a sobreviver em uma sociedade onde se vivência transformações e mudanças de práticas refletidas de forma contínua no processo de ensino-aprendizagem, aliados aos interesses que as mesmas despertam em adolescentes e jovens, contribuindo como ferramentas metodológicas de ensino, o que permite muitos professores e pesquisadores de diversas áreas da ciência utilizá-las com frequência, destaca-se nesta abordagem a ciência “Química”.

A Química é uma ciência experimental, que apresenta em sua grade de conteúdos, assuntos abstratos que os alunos têm dificuldades de compreender, entender e visualizar. Por isso, a utilização das TICs como ferramentas metodológicas de ensino nesta área, pode tornar o processo de ensino-aprendizagem significativo, como por exemplo, aplicação de mapas conceituais (TRINDADE e HARTWIG, 2012; YANO, 2012), aplicação ou produção de vídeos (LEITE e LEÃO, 2015; CANTO FILHO, et al 2014), software (ALMEIDA, et al 2009; SANTOS, et al 2010; FLORES e MOL, 2016), blogs (BARRO et al, 2015), além de pesquisas (CORREIA et al, 2013; GONÇALVES et al, 2014, ROLANDO et al, 2014; KAFER e MARCHI, 2014) que abordam a utilização das TICs, de forma geral.

Evidenciar trabalhos de pesquisa, que utilizem o estado da arte, é contribuir para solucionar uma problemática mundial, de futuras pesquisas relacionadas ao Ensino da Química, visto que, todo tipo de publicação, necessita de uma base referencial científica, como ponto de apoio para o desenvolvimento de novos trabalhos relacionados à pesquisa.

Este artigo destaca um recorde do estado da arte das TICs no Ensino de Química, a partir de um enfoque metodológico, produzido com base na produção acadêmica em destaque nas dissertações e teses, na base de dados da Capes. Têm como objetivo principal, investigar a produção acadêmica científica, relacionada ao

estado da arte, com ênfase numa abordagem metodológica.

2 | DESENVOLVIMENTO

Pesquisas relacionadas ao Estado da arte nos permitem a sistematização de toda a produção acadêmica desenvolvida sobre um determinado assunto em um período de tempo catalogado, desta forma constituem um marco na área em que se desenvolvem contribuindo significativamente para a comunidade acadêmica e todos os profissionais envolvidos na temática analisada, referenciada na área de concentração em que são catalogadas.

Vivemos na era tecnológica, embora a construção do conhecimento científico, não esteja ligado a utilização de recursos tecnológicos, é inegável que eles contribuem significativamente para o fazer científico, levando em consideração que podem gerar inúmeras contribuições para o desenvolvimento de trabalhos em equipe de forma crítica e criativa, gerando informações que possibilitam a relação entre as ciências e a elaboração de projetos capazes de possibilitar projetos que envolvam transdisciplinaridade e interdisciplinaridade. O trabalho enfatiza a categorização os seguintes focos temáticos: Mapas Conceituais, Vídeos, Recursos Midiáticos, Software e Blogs. Compreende-se que:

1. Mapas Conceituais podem contribuir significativamente para o desenvolvimento e construção de textos, a partir de conceitos estabelecidos a partir de conteúdos da disciplina “Química”, colaborando para o desenvolvimento cognitivo do aluno, além de influenciar na capacidade de abstração do aluno, com relação ao significado dos conteúdos.
2. Vídeos quando aplicados ou desenvolvidos de acordo com os conteúdos da disciplina “Química” enfatizam a necessidade da disciplina superar a sequência de conteúdos isolados e descontextualizados, expondo as contribuições significativas destes na questão de demonstrações experimentativas.
3. Recursos Midiáticos englobam todas as formas tecnológicas capazes de serem utilizadas no processo de construção da aprendizagem, garantindo uma estrutura moderna, prática e atualizada no processo de ensino, devido sua abrangência de possibilidades em conhecer e utilizar materiais que inovam, despertam e auxiliam no processo de ensino-aprendizagem.
4. Softwares podem possibilitar o estudo de conteúdos teóricos dentro do contexto da ciência “Química”, podem possibilitar recursos, figuras, animações, dentro de ambientes fáceis de serem manipulados.
5. Blogs podem ser utilizados pelo professor de Química, como forma de despertar nos alunos a curiosidade com relação a processos químicos, de forma contextualizada para abordar o entendimento de conteúdos da disciplina e averiguar como se construiu o processo de ensino-aprendizagem sobre determinado assunto.

3 | METODOLOGIA

Estabeleceu-se para base de sustentação desta pesquisa, uma investigação voltada para a área de concentração de Ensino de Química, optou-se por um recorte temporal de Teses e Dissertações, publicadas de 2012 a 2016 no site <http://bancodeteses.capes.gov.br/banco-teses/> que a CAPES disponibiliza, onde se utilizou os seguintes parâmetros de busca:

- “Ensino de Química”; “TICs”; “ensino-aprendizagem”
- “Ensino de Química”; “software”; “ensino-aprendizagem”
- “Ensino de Química”; “vídeos”; “ensino-aprendizagem”
- “Ensino de Química”; “blogs”; “ensino-aprendizagem”
- “Ensino de Química”; “mapas conceituais”; “ensino-aprendizagem”

Por meio desta investigação catalogou-se a produção científica na área, de acordo com as seguintes etapas:

- 1- Classificação de descritores: ano de defesa, tipo de trabalho, IES da publicação, foco temático, nível de escolaridade, tipo de pesquisa e abordagem metodológica;
- 2- Leitura e análise dos trabalhos, de acordo com os descritores escolhidos;
- 3- Organização de dados, com base na análise dos descritores estabelecidos; com a construção de quadros relacionando os resultados obtidos;
- 4- Análise de resultados e discussão, como proposta de identificação de quais os focos temáticos evidenciam a abordagem metodológica, que necessitam de mais investigação, para a contribuição as TICs no processo de ensino-aprendizagem na ciência “Química”.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

TÍTULO	REGIÃO	IES	UF
1- A produção de vídeos amadores de experimentos como ferramenta para a educação química	Nordeste	UFAL	AL
2- Transformando textos em mapas cognitivos: desenvolvimento e um exemplo de aplicação	Sudeste	USP	SP
3- Inovação metodológica na sala de aula com o uso de mapas conceituais no ensino superior	Sudeste	USP	SP
4- Métodos Multimídias no ensino de conceitos de Química	Sudeste	UFSCar	SP
5- O uso das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) nas visitas escolares do Centro de Ciências de Araraquara: análise sobre a Gincana Tecnológica e Investigativa de Química	Sudeste	UFSCar	SP
6- Mapas Conceituais e resoluções de problemas sobre as interações intermoleculares: um estudo com alunos da 1série do ensino médio	Sudeste	UFSCar	SP

7- Desenvolvimento e análise de material didático online para o ensaio de conteúdos de Química Orgânica: Controle Bioracional de Insetos Pragas	Sudeste	UFSCar	SP
8- Uso de vídeos como atividade experimental demonstrativa no Ensino de Química	Centro-Oeste	IEG	GO
9- O uso blogs e aulas experimentais como práticas educativas no ensino de físico-química para o ensino médio: um estudo descritivo a partir do conceito de aprendizagem significativa	Nordeste	UFC	CE
10- Aulas em multimídia como ferramenta pedagógica na melhoria do ensino de Química de alunos o 1 ano o ensino médio: um estudo de caso	Nordeste	UFC	CE
11- Mapas conceituais como estratégia para desenvolver a competência leitora no Ensino de Química	Sudeste	UNICSUL	SP
12- O Ensino de Química e as tecnologias educacionais: o uso pedagógico o software VLAB	Nordeste	UFC	CE
13- Animação digital para a apresentação da Química no cotidiano	Centro Oeste	UNB	DF
14- Uma proposta de Ambiente Virtual de Aprendizagem no ensino de conceitos relacionados a equilíbrio químico	Centro Oeste	UNB	DF
15-Vídeos de Experimentos Demonstrativos Investigativos: um estudo de signos produzidos por alunos do ensino médio sobre o tema combustão	Centro Oeste	UFMT	MT
16- Estudo da Influência da utilização do Software de Modelagem Molecular no processo de aprendizagem de conceitos químicos por estudantes do ensino médio e superior	Sul	ULBRA	RS
17- O uso do editor de slides aliado a prática experimental de Química como ferramenta educativa para maximizar o processo de ensino e aprendizagem de eletroquímica	Nordeste	UFC	CE
18- Produção e análise de mídias sobre o tema “aquecimento global” para a divulgação e o Ensino de Química	Sudeste	UFSCar	SP
19- Utilização o Ambiente Virtual e Aprendizagem aliado ao Ensino presencial de Química Analítica	Sudeste	UFES	ES
20- Possibilidades didático-metodológicas presentes na rede social Orkut: contribuições para o Ensino de Química	Centro- Oeste	UFG	GO
21- Avaliação do uso de filmes-experimento no Ensino de Química	Sudeste	UNICAMP	SP
22- A comunidade de blogs Myopera como ambiente virtual de aprendizagem para ensinar Química no ensino médio: um estudo de caso	Nordeste	UFC	CE
23- Desenvolvimento e aplicação de um método de análise de mapas conceituais com o objetivo de acompanhar mudanças na compreensão de um grupo de alunos sobre o tema Equilíbrio Químico	Sudeste	USP	SP
24- Ambiente Virtual de Aprendizagem: possibilidades e desafios no Ensino de Química	Sul	UNIVAT ES	RS

TABELA 1 – Descrição da produção acadêmica, identificação da IES, sua região e estado

Na produção acadêmica seis trabalhos foram identificados na região Nordeste (1,9,10,12,17,22), correspondendo a 25%; onde a maior parte desenvolveu-se no

Ceará; na região Centro-Oeste (8,13,14,15) destacam-se quatro (16,7%), produção com maior desenvolvimento em Brasília; na região Sul (16,24), identificaram-se dois trabalhos correspondendo a 8,3%; enquanto na região Norte não há trabalhos com concentração específica de Ensino de Química; a região Sudeste destaca-se com 11 trabalhos (2,3,4,5,6,7,11,18,19,21,23) totalizando 46% do total desta produção.

TÍTULO	ANO DE DEFESA	M.	D.
1- A produção de vídeos amadores de experimentos como ferramenta para a educação química	2014	1	-
2- Transformando textos em mapas cognitivos: desenvolvimento e um exemplo de aplicação.	2013	1	-
3- Inovação metodológica na sala de aula com o uso de mapas conceituais no ensino superior	2013	1	-
4- Métodos Multimídias no ensino de conceitos de Química	2015	1	-
5- O uso das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) nas visitas escolares do Centro de Ciências de Araraquara: análise sobre a Gincana Tecnológica e Investigativa de Química	2013	1	-
6- Mapas Conceituais e resoluções de problemas sobre as interações intermoleculares: um estudo com alunos da 1ª série do ensino médio	2012	1	-
7- Desenvolvimento e análise de material didático on line para o ensaio de conteúdos de Química Orgânica: Controle Bioracional de Insetos Pragas	2013	1	-
8- Uso de vídeos como atividade experimental demonstrativa no Ensino de Química	2015	1	-
9- O uso blogs e aulas experimentais como práticas educativas no ensino de físico-química para o ensino médio: um estudo descritivo a partir do conceito de aprendizagem significativa	2013	1	-
10- Aulas em multimídia como ferramenta pedagógica na melhoria do ensino de Química de alunos o 1º ano o ensino médio: um estudo de caso	2015	1	-
11- Mapas conceituais como estratégia para desenvolver a competência leitora no Ensino de Química	2015	1	-
12- O Ensino de Química e as tecnologias educacionais: o uso pedagógico do software VLAB	2013	1	-
13- Animação digital para a apresentação da Química no cotidiano	2013	1	-
14- Uma proposta de Ambiente Virtual de Aprendizagem no ensino de conceitos relacionados a equilíbrio químico	2013	1	-
15- Vídeos de Experimentos Demonstrativos Investigativos: um estudo de signos produzidos por alunos do ensino médio sobre o tema combustão	2013	1	-
16- Estudo da Influência da utilização do Software de Modelagem Molecular no processo de aprendizagem de conceitos químicos por estudantes do ensino médio e superior	2015	-	1
17- O uso do editor de slides aliado a prática experimental de Química como ferramenta educativa para maximizar o processo de ensino e aprendizagem de eletroquímica	2016	1	-
18- Produção e análise de mídias sobre o tema “aquecimento global” para a divulgação e o Ensino de Química	2013	1	-
19- Utilização do Ambiente Virtual de Aprendizagem aliado ao Ensino presencial de Química Analítica	2016	1	-

20-	Possibilidades didático-metodológicas presentes na rede social Orkut: contribuições para o Ensino de Química	2012	-	1
21-	Avaliação do uso de filmes-experimento no Ensino de Química	2009	1	-
22-	A comunidade de blogs Myopera como ambiente virtual de aprendizagem para ensinar Química no ensino médio: um estudo de caso	2012	1	-
23-	Desenvolvimento e aplicação de um método de análise de mapas conceituais com o objetivo de acompanhar mudanças na compreensão de um grupo de alunos sobre o tema Equilíbrio Químico	2011	1	-
24-	Ambiente Virtual de Aprendizagem: possibilidades e desafios no Ensino de Química	2015	1	-

TABELA 2- Produção acadêmica, ano de defesa e tipo de trabalho

Ao observar-se como acontece a distribuição da produção de trabalhos é possível detectar apenas 2 teses e 22 dissertações relacionadas especificamente ao processo de ensino aprendizagem, o que demonstra a necessidade de investigação, pesquisa e utilização das TICs no Ensino de Química.

N.	FOCO TEMÁTICO	NÍVEL DE ESCOLARIDADE	METÓDO DE PESQUISA	ABORDAGEM METODOLÓGICA
1	Vídeo	Ensino Médio	Estudo de Caso	Qualitativa
2	Mapas Conceituais	Ensino Superior	Análise de Conteúdo	Qualitativa
3	Mapas Conceituais	Ensino Superior	Estudo de Caso	Qualitativa
4	Software	Ensino Médio	Análise de Conteúdo	Qualitativa
5	Recursos Midiáticos	Ensino Médio	Análise de Conteúdo	Qualitativa
6	Mapas Conceituais	Ensino Médio	Resolução de Problemas	Qualitativo Quantitativo
7	Recursos Midiáticos	Ensino Médio	Observação participante	Qualitativo
8	Video	Ensino Médio	Análise de Conteúdo	Qualitativo
9	Blogs	Ensino Médio	Estudo de Caso	Qualiquantativa
10	Software	Ensino Médio	Bibliográfico -descritivo	Qualitativo Quantitativo
11	Mapas Conceituais	Ensino Médio	Análise de Conteúdo	Qualitativo Quantitativo
12	Software	Ensino Médio	Estudo de Caso	Qualitativo Quantitativo
13	Software	Ensino Médio	Análise de Conteúdo	Qualitativo Quantitativo
14	Recursos Midiáticos	Ensino Médio	Pesquisa-ação	Qualitativa
15	Videos	Ensino Médio	Análise do Discurso	Qualitativa

16	Software	Ensino Médio e superior	Análise do Discurso	Qualitativa
17	Software	Ensino Médio	Pesquisa-ação	Qualitativo Quantitativo
18	Recursos Midiáticos	Ensino Médio	Pesquisa-ação	Qualitativa
19	Video	Ensino Superior	Estudo de Caso	Qualitativa
20	Recursos Midiáticos	Ensino Médio	Estudo de Caso	Qualitativa Quantitativa
21	Video	Ensino Médio	Análise de Conteúdo	Qualitativa
22	Blogs	Ensino Médio	Estudo de Caso	Qualitativa
23	Mapas Conceituais	Ensino Médio	Análise de Conteúdo	Qualitativa Quantitativo
24	Mapas conceituais	Ensino Médio	Estudo de Caso	Qualitativa

TABELA 3- Identificação de foco temático, nível de escolaridade, método da pesquisa e abordagem metodológica

Dos trabalhos realizados 25% utilizam os mapas conceituais como ferramenta metodológica de ensino, 21% utilizam software, vídeos e recursos midiáticos de forma geral; nos níveis escolares 87,5% dos estudos estão relacionados ao Ensino Médio; 12,5% ao Ensino Superior, enquanto que não foram identificados trabalhos no Ensino Fundamental. Com relação ao método da pesquisa 34% dos trabalhos abordam estudo de caso e análise de conteúdo. Com relação a abordagem metodológica 62,5% das produções relata a importância de se utilizar abordagem, tanto qualitativa como quantitativa, enquanto 37,5% dos trabalhos é qualitativo.

Na categoria da produção acadêmica relacionada a mapas conceituais (JUNQUEIRA, 2013; MAYER, 2013; MACHADO, 2015; MOTA, 2012; CAVALCANTI 2011) envolve-se, estudos de caso, observação participativa, interpretação de significados contextuais e individuais, seja de grupos de alunos ou de indivíduos específicos. Esse enfoque metodológico desenvolve um consenso entre pesquisadores (ARAÚJO et al, 2007; MOREIRA, 2012; SILVA, 2016) com relação a preferência a contextos, fenômenos, tópicos e conceitos. Utilizando um conteúdo descritivo e utilizando dados quantitativos incorporados nas análises.

A produção ou aplicação ou vídeos (BENIGNO, 2014; DA SILVA & OLIVEIRA, 2015; LIRA, 2013; SOUZA, 2016) enfatizam questões relacionadas a aplicação em aulas experimentais, corroborando com FRANCISCO JUNIOR, 2008; na busca da ênfase que vídeos proporcionam ao ensino e a aprendizagem.

Com relação a abordagem metodológica a produção acadêmica enfatiza que é de grande importância a produção qualitativa, visto que a relação empírica necessita de números exatos, entretanto o trabalho estatístico colabora efetivamente para a construção de interpretações de ideias, fenômenos e conceitos relacionados aos

conteúdos da disciplina explicitados no decorrer do processo ensino-aprendizagem, por isso o trabalho quantitativo, também contribui para o desenvolvimento e conclusões de novas idéias, que podem alavancar, novas pesquisas científicas.

5 | CONSIDERAÇÕES

Mapear a produção acadêmica sobre as TICs no Ensino de Química é uma forma de investigação e reconhecimento de que novas pesquisas relacionadas a área necessitam serem realizadas. Dentro da concentração da Área de Ensino de Química de todas as regiões brasileiras, a região norte necessita que trabalhos de pesquisadores e professores sejam realizados e publicados, enquanto o sudeste é a região que mais tem destaque nesta área de concentração, por meio da UFSCar. Relacionando o nível de escolaridade percebe-se que as produções concentram-se no nível de ensino médio, e a maioria destas tem um enfoque metodológico de abordagem qualitativa/quantitativa, argumentando que os dados numéricos servem de subsídios para a interpretação de conteúdos e fenômenos, colaborando de forma a conduzir uma interpretação cognitiva de resultados, com implicações significativas para a área de Ensino de Química.

Focar tematicamente abordagens que evidenciem o pensamento computacional é uma forma de agregar novas informações que evidenciem um pensar, de certa forma internalizado, dando condições a futuros pesquisadores, de perceber novas formas de pensar, o objeto de estudo analisado.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M.N.P.; PINHEIRO, E.A.A.; FILHO, A.D.; MARINHO, A.M.R. **Software educativo Avogadro 0.8.1 auxiliando Ensino de Química em Escola de Belém-PA**. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA (SBQ), 32. 2009 *Anais...*Fortaleza, 2009.
- Araújo, N. R. S.; Bueno, E.A.S.; Almeida, F.A.S. & Borsato, D. (2007). **O petróleo e sua destilação: uma abordagem experimental no ensino médio utilizando mapas conceituais**. *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas*, v. 28, n. 1, p. 47-54.
- BARRO, M.R.; VERAS, L.; QUEIROZ, S.L.; **Blogs no Ensino de Química: análise de comentários publicados em disciplina de comunicação científica**. *Química Nova*, Vol. 39, No. 2, 238-244, 2016
- CANTO FILHO, A. B.; LIMA, J. V.; TAROUÇO, M. R. **Vídeos, Questões e Desempenho: uma análise quantitativa em cursos de engenharia**. *Revista Novas Tecnologias na Educação, RENOTE*, v. 12, n. 2, p. 1-10, 2014.
- CHEMIN, B. F. **Manual da Univates para trabalhos acadêmicos**. 2. ed. Lajeado: Univates, 2012.
- CORREIA, A. de O.; SOUZA, R. O. O.; TAVARES, R. **Um estudo sobre a “TIC” e o Ensino da Química**. São Paulo, 2013. IV Simpósio Internacional de Inovação Tecnológica. Anais SIMTEC. Ago. de 2013.
- FERREIRA, N. S. de A. **As pesquisas denominadas “estado da arte”**. *Revista Educação &*

FLORES, K. K. A.; MÓL, G. S. **O uso do Software Educacional ACD/ChemSketch® como ferramenta dinâmica no Ensino de Química Orgânica.** 29ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química. São Paulo, 19 à 25 de maio de 2016.

FRANCISCO, C. A.; ALEXANDRINO, D. M.; QUEIROZ, S. L.; **Análise de dissertações e teses sobre o Ensino de Química no Brasil: Produção científica de programas de pós-graduação em destaque.** Investigações em Ensino de Ciências – V20(3), pp. 21-60, 2015.

FRANCISCO JUNIOR, W. E.; FERREIRA, L. H.; HARTWIG, D. R. **Experimentação problematizadora: fundamentos teóricos e práticos para a aplicação em salas de aulas de Ciências.** *Química Nova na Escola*, n. 30, p. 34-41, 2008.

GONÇALVES, L. P. S. et al. **As TIC's como ferramenta de mediação pedagógica para a experimentação no Ensino de Química.** In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, 37 (XXXVII RASBQ), 2014, Natal. Atas... Natal, 2014.

KAFER, G. A.; MARCHI, M. I. **Utilização do Software de Simulações PET como estratégia didática para o ensino dos conceitos de soluções.** Centro universitário UNIVATES. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Exatas – Mestrado, 2014.

LEITE, B. S.; LEÃO, M. B. C. **Contribuição da Web 2.0 como ferramenta de aprendizagem: um estudo de caso.** Revista brasileira de ensino de ciência e tecnologia, v. 8, n. 4, p. 288-315, 2015.

LEITINHO, M. C.; DIAS, A. M. I. **O estado da arte dos estudos curriculares nas Regiões Norte e Nordeste: ementário de disciplinas, temáticas investigativas e contribuições à área.** In: GOMES, A.; LEAL, T. F. (Org.). *Pesquisas em educação nas Regiões Norte e Nordeste: balanço e perspectivas.* Recife: Editora da UFPE, 2014.

MOREIRA, M.A. **Aprendizagem significativa, organizadores prévios, mapas conceituais, diagramas v e unidades de ensino potencialmente significativas.** UFRGS; Porto Alegre, 2012.

ROLANDO, L.G.R.; VASCONCELLOS, R.F.R.R.; MORENO, E. L.; SALVADOR, D. F.; LUZ, M. R. M. P. **Integração entre Internet e Prática Docente de Química.** Revista Virtual de Química, v. 7, n. 3, p. 864-879, 2014.

SANTOS, D.O.; WARTHA, E.J.; SILVA, J.C.F. **Softwares educativos livres para o Ensino de Química: Análise e Categorização.** In: ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA, 15, 2010. *Anais...* Brasília, 2010

SILVA, S. P.; NOBREGA-THERRIEN, S. M.; FARIAS, I.M. S. de. **Produções sobre a formação de professores no EPENN: análise do período 2003 a 2011.** In: ENCONTRO DE PESQUISA EDUCACIONAL DO NORTE E NORDESTE, 21, 2013, Recife. *Anais...* Recife: UFPE, 2013.

SILVA, A. L. S. da. **Mapas Conceituais no Processo de Ensino-Aprendizagem:** aspectos teóricos. Disponível em: <http://www.infoescola.com/pedagogia/mapas-conceituaisno-processo-de-ensino-aprendizagem-aspectos-teóricos/>. Acesso em: 18 abr. 2016.

TRINDADE, J. O.; HARTWIG, D. R. **Uso combinado de mapas conceituais e estratégias diversificadas de ensino: uma análise inicial das ligações químicas.** *Química Nova na Escola*, vol. 34(2), p. 83-91. 2012.

YANO, E. O. **A utilização dos Mapas Conceituais como ferramenta para promover a aprendizagem de transformações químicas.** Dissertação de Mestrado. Universidade Cruzeiro do Sul, 2012.

PREPARAÇÃO E AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE BLENDA DE PHB/PC

Francielle Schmitz

Departamento de Química, Universidade Regional de Blumenau-FURB, Rua Antônio da Veiga, 140, 89012-900. Blumenau - SC.

Carolina de Andrade

Departamento de Química, Universidade Regional de Blumenau-FURB, Rua Antônio da Veiga, 140, 89012-900. Blumenau - SC.

Ivonete Oliveira Barcellos

Departamento de Química, Universidade Regional de Blumenau-FURB, Rua Antônio da Veiga, 140, 89012-900. Blumenau - SC.

RESUMO: A crescente utilização de materiais poliméricos e a consequente aceleração da produção, estimula à evolução do material, tanto nas propriedades características, como em suas aplicações. Com isso, surgem novas alternativas visando redução no acúmulo, devido ao descarte através da substituição dos polímeros convencionais por compatíveis com a preservação ambiental. Uma das alternativas está na inserção de polímeros biodegradáveis, como o poli(hidroxitirato) (PHB). Com a blenda polimérica entre PHB e PC (policarbonato) espera-se melhorar ou manter as propriedades físico-químicas do material, mantendo a característica de biodegradabilidade do PHB. Para isso foram produzidos filmes dessas blendas (PHB/PC)

com diferentes porcentagens de PC (10%, 20%, 30%, 40% [m/m]), sendo utilizadas nas determinações: índice de intumescimento, permeação ao vapor d'água, densidade, massa molar (Mv) e nas análises como espectroscópica (FT-IR), e Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC). Os dados de densidade e de análise de DSC permitem avaliar a miscibilidade da blenda, sendo uma característica importante para aplicações tecnológicas. Nas análises espectroscópicas, observou-se a presença de bandas características do PHB e do PC, e bem como nas blendas de diferentes composições que foram analisadas por FTIR. A densidade das blendas variou proporcionalmente até 30% de PC e mostrou valores intermediários aos dos polímeros puros, indicando parcial miscibilidade. Entretanto o intumescimento apresentou pouca variação entre blendas e os polímeros puros. A permeabilidade ao vapor d'água confirmou que blendas com menores concentrações de PHB possuem uma maior permeabilidade e, conseqüentemente, maior porosidade.

PALAVRAS-CHAVE: Poli(hidroxitirato), Policarbonato, blenda, biopolímero.

PREPARATION AND EVALUATION OF PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF PHB/

ABSTRACT: The increasing use of polymeric materials and the consequent acceleration of production, are also followed by the evolution of material, both in the characteristics properties, and their applications. With this, there are new alternatives to replace conventional polymers compatible with environmental preservation. One alternative is the insertion of biodegradable polymers, such as poly (hydroxybutyrate) (PHB). With polymer blend between PHB and PC (polycarbonate) it is expected to improve or maintain physical and chemical properties of the material, keeping the feature of biodegradation of PHB. These films were produced for those blends (PHB/PC) with different percentages of PC (10%, 20%, 30%, 40% [wt/wt]), being used in the evaluation of swelling index, Water vapor permeability, density, molecular weight (Mv) and in the analysis of characteristic spectroscopic (FT-IR) and Differential Calorimetry (DSC). The density data and DSC analysis date allow the evaluation of miscibility blend, that an important feature for technological applications. Spectroscopic analyses showed the presence of PHB and PC typical bands, as well as in the blends of different compositions that were analyzed by FT-IR. The density of the blends also showed intermediate values compared to the pure polymer until 30%, thus indicating partial miscibility. However the swelling of blends and pure polymers showed little variation. The Water vapor permeability confirmed that blends with lower concentrations of PHB have a higher permeability and, consequently, greater porosity.

KEYWORDS: poly (hydroxybutyrate), polycarbonate, blend, biopolymer.

1 | INTRODUÇÃO

Com o crescente consumo de plásticos, vem se gerando sérios problemas ambientais. O plástico ideal deve apresentar propriedades desejáveis e ao mesmo tempo ser degradável em um tempo de trabalho satisfatório. (Coelho, 2008). E devido ao crescimento da demanda de plásticos nas indústrias de vários setores, é necessário buscar maneiras de diminuir o impacto ambiental provocado pelos polímeros utilizados como matérias-primas. Uma das melhores alternativas para a produção de novos materiais que sejam “eco-amigos” é o polihidroxibutirato (PHB), pois ele é biodegradável e pode ser produzido a partir de fontes renováveis (Godbole, 2003; Montes, 2019).

O PHB é um poliéster de cadeia curta, linear saturado, da família do poli(hidroxialcanoatos) (PHA) que se comporta como um termoplástico convencional. O PHA é o termo dado à família de poliésteres produzidos por microorganismos a partir de vários substratos de carbono e, dependendo destes substratos e do metabolismo dos micro-organismos, podem ser gerados diferentes monômeros. A maioria dos polímeros biodegradáveis é produzida através de milho, cana-de-açúcar e celulose, já no caso do PHB, as bactérias o sintetizam a partir de pequenas moléculas de ácido butírico. (Brito *et al.*, 2011). Este plástico é um produto ecologicamente correto, sendo

sua produção realizada por meio de processo biológico com bactérias, tais como as do gênero *Alcaligenos*. As propriedades mais realçadas neste bioplástico são a sua produção como matéria prima renovável, e a sua completa biodegradabilidade, além de sua capacidade de ser produzido por processos que usam tecnologia limpa (BUCCI *et al.*, 2007).

O PHB e seus copolímeros são produzidos naturalmente por bactérias a partir de fontes renováveis de energia, e biodegradáveis por uma enorme quantidade de bactérias e fungos presentes na natureza, tornando assim, o PHB um polímero biodegradável. Existem alguns fatores que tem limitado a utilização do PHB em larga escala, como seu elevado custo de produção e suas propriedades físicas e mecânicas limitadas, tornando o material rígido e frágil. A produção de blendas de PHB com outros polímeros tem como objetivo melhorar suas propriedades físicas, e diminuir seu custo. (QUENTAL,2009).

A biodegradabilidade da família PHA, combinada com outros termoplásticos oferecem a possibilidade de substituição dos polímeros não degradáveis como o polietileno e o polipropileno. O PHB é o mais estudado desta família por possuir ótimas condições de biodegradabilidade, biocompatibilidade e atividade ótica. Entretanto, o custo alto, a fragilidade, a fraca estabilidade térmica e o alta temperatura de fusão são questões que retardam a aplicação comercial destes polímeros. (Brito *et al.*, 2011; Weng, 2013).

Existem muitos estudos que procuram melhorar as propriedades do PHB através de copolimerização ou blendagem. Polihidroxibutirato-*co*-valerato (PHB/HV) é um dos copolímeros mais importantes desta família, pois a adição de valerato (HV) reduz a temperatura de fusão e a cristalinidade do PHB (Kuo and Liu, 2010; Alberti,2013)

Existe uma variedade de blendas estudadas entre PHB e, por exemplo, PVA, PMMA, PEO, PVA, PBSU, PLA, PCL, PHBV, [P(3HB-3HHx)]. Também já foram utilizados alguns polissacarídeos como a celulose e o amido. Esses estudos comprovaram que alguns polímeros podem melhorar algumas propriedades mecânicas, como tenacidade do PHB, porém são também de alto custo, sendo inviável sua produção em larga escala (Yang and Hu, 2008).

O maior problema da “blindagem” com PHB é a imiscibilidade das blendas, devido seus altos graus de polimerização. Para aprimorar a formação de um sistema de uma única fase miscível em blendas é necessário que as interações intermoleculares existentes entre os dois componentes da blenda sejam favoráveis. Sabe-se, por exemplo, que o PHB pode formar blendas miscíveis com o poli(vinilfenol) PVP por meio de ligações de hidrogênio favoráveis, observando-se através da temperatura de transição vítrea do composto (Iriondo, 1996; Xing, 1997).

A dependência entre a miscibilidade das blendas e o método de preparação das mesmas foi observada em uma pesquisa envolvendo blendas de PHB/poli(DL-lactide), com diferentes concentrações. Quando preparadas à temperatura ambiente

apresentaram duas temperaturas de transição vítrea (T_g), relacionadas aos componentes puros indicando imiscibilidade. Porém, as blendas preparadas a altas temperaturas apresentaram uma única T_g , ou seja, alta miscibilidade. (Zhang *et al.*, 1998).

Apesar dos problemas com miscibilidade, a maioria dos estudos ainda envolve blendas com PHB, que buscam melhorar suas fracas propriedades físicas, sendo amplamente utilizados outros termoplásticos e polissacarídeos. Uma das pesquisas realizadas com poli-3-hidroxibutirato-amido o amido como polissacarídeo avaliou que essa blenda, em proporção de até 30% de amido para 70% de PHB, apresentou redução de custos de preparo e aumentou as propriedades físicas do PHB. Comprovou-se que a utilização de 30% do amido poderia baratear os custos sem comprometer as propriedades físicas (Godbole *et al.*, 2003).

Outro estudo realizado com blenda de PHB foi empregando um tipo de Policarbonato (carbonato de propileno) (PPC) considerado um polímero biodegradável de baixo custo e não agride o meio-ambiente. Sendo amorfo, é muito resistente. Um estudo feito com PHB/PPC permitiu observar que em composições menores ou igual a 30% de PHB, os dois polímeros são miscíveis. Constataram também que a temperatura de fusão (T_m) apresentou-se menor nas blendas do que no PHB puro. Além disso, o alongamento à ruptura do PHB foi significativamente melhorado nas blendas, enquanto a tensão à ruptura e o módulo de elasticidade diminuíram com o aumento do PPC nas blendas. (Yang and Hu, 2008).

Polímeros como PHB e PCL também vêm despertando interesse na indústria farmacêutica e biomédica devido as suas propriedades de biocompatibilidade e biodegradabilidade, porém alguns fatores restringem as aplicações. Para melhorar suas propriedades, um estudo com blendas poliméricas associando os homopolímeros PHB e PCL, foi realizado. Por MEV e densitometria verificou-se que os polímeros são parcialmente miscíveis. Através da técnica de análise térmica, observou-se uma interação entre os componentes da blenda, tendo assim o aumento da energia de ativação do PHB e diminuição da energia de degradação do PCL. (Costa, 2013)

2 | MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Materiais

O polihidroxibutirato (PHB), contendo 3,5% de valerato, foi cedido pela PHB Indústria do Brasil e o policarbonato (PC) foi doado pelo professor Marco Aurélio de Araújo, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

2.2 Preparo dos filmes de blenda

Os filmes das blendas dos polímeros foram obtidos pelo método de *casting*, onde os polímeros puros foram dissolvidos em clorofórmio para preparação da

mistura, e mantidos sob agitação constante por 7h, então, depositados em placas de teflon e deixados para evaporação à temperatura ambiente por 24 horas para a remoção do solvente. Os filmes preparados foram secados na estufa até massa constante e mantido no dessecador. As blendas PHB/PC foram preparadas em várias composições: 90:10, 80:20, 70:30, 60:40.

2.3 Caracterizações dos polímeros

2.3.1 Determinação da Massa Molar Viscosimétrica (Mv) dos polímeros

A Massa Molar Viscosimétrica (Mv) foi determinada pela técnica de viscosimetria. Determinou-se a viscosidade de diferentes concentrações de soluções poliméricas de PHB e PC em clorofórmio num viscosímetro de *Ostwald* a temperaturas de 30°C e 25°C, respectivamente. As concentrações dos polímeros variaram de 0,02 a 0,10 g/dL em clorofórmio. A partir dos valores obtidos, os dados foram aplicados nas fórmulas de acordo com a literatura. (BILLMEYER, 1984). E a partir da equação de Mark Houwink (Equação 1) calculou-se massa molecular viscosimétrica (Mv).

$$[\eta] = K \times MV^a$$

Equação 1

K e **a** são constantes de Mark-Houwink e são dadas para um determinado sistema de polímero/solvente/temperatura.

2.3.2 Espectroscopia no Infravermelho (IR)

Para a caracterização dos polímeros e suas blendas (identificação e determinação de características estruturais) utilizou-se a espectroscopia de infravermelho FTIR. Os espectros foram obtidos num FTIR, Shimadzu IR Prestige-21. Todos os espectros foram registrados à temperatura ambiente e foram feitas 32 varreduras com resolução de 4 [1/cm]. Os espectros foram obtidos com filmes dos polímeros puros e de suas blendas.

2.3.3 Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC)

Para a determinação da temperatura de fusão (T_m) e da temperatura de transição vítrea (T_g), foi utilizado o método por calorimetria diferencial de varredura (DSC). Os dados de DSC das amostras dos polímeros e das blendas foram registrados no intervalo de temperaturas de 25 - 300°C, sob um fluxo de N_2 . As amostras foram colocadas em painéis de alumínio e aquecidos a uma taxa de 20°C/min.

A T_m foi determinada a partir do pico endotérmico dado pelo DSC, que foi obtido

como a temperatura de fusão. A T_g é ponto médio do aumento gradual do calor específico associado com a transição vítrea. Estas propriedades térmicas, além de permitirem que se avalie a estabilidade térmica do material, são úteis na avaliação da miscibilidade.

2.4 Análise das Propriedades Físico-Químicas das Blendas

2.4.1 Determinação da Densidade

A determinação da densidade permitiu avaliar a miscibilidade das blends poliméricas. O diâmetro dos filmes foi determinado com a ajuda de uma escala e a espessura média foi determinada pelo micrômetro, as massas dos filmes foram determinadas em balança analítica. A densidade das amostras foi calculada pela Equação 2.

$$V = \frac{\pi \times D^2}{4} \times T$$

Equação 2

Densidade (d) = Massa (m) / Volume (V) em g/cm³

Volume (V) = área (A) x espessura do filme (T)

2.4.2 Propriedades de Intumescimento

Os filmes com massa analiticamente determinadas foram colocadas em estufa a 80 °C, por, aproximadamente, 24 horas, visando determinar a perda total de umidade. Após atingirem massa constante, os filmes foram mantidos em dessecadores durante a realização dos experimentos. As amostras de massa conhecida foram imersas em recipientes contendo água destilada (pH 6,8) e mantidas por diferentes intervalos de tempo em temperatura controlada de 30°C, para controle da variação da massa, até atingirem o equilíbrio de intumescimento, ou seja, não observado mais variações da massa.

No cálculo do índice de intumescimento (I%) foi utilizada a Equação 3.

$$I \% = \frac{\text{massa final} - \text{massa inicial}}{\text{massa final}} \times 100$$

Equação 3

Para determinar a espessura do intumescimento (TS%), foi determinada a espessura da membrana antes (T_i) e a após a imersão (T_f) em água. Os dados obtidos são aplicados na Equação 4.

$$TS(\%) = \frac{T_f - T_i}{T_i} \times 100$$

Equação 4

2.4.3 Permeação ao Vapor D'água

A permeabilidade ao vapor da água é definida pela ASTM E96-95 como sendo uma taxa de transmissão de vapor de água por unidade de área através do filme de espessura conhecida, induzida por um gradiente de pressão entre as duas superfícies específicas, de temperatura e umidade relativa especificada. A permeabilidade dos filmes 100% e das blendas foi determinada pelo método da célula de diafragma. Neste método, uma célula de permeação (pesa-filtro) contendo um agente dessecante (sílica gel), é submetida em condições de umidade controlada dentro de um dessecador, a uma temperatura de aproximadamente 20,0°C. Os filmes devem ter espessura máxima de 0,15 mm e absorvem umidade dia-a-dia, logo, a permeabilidade ao vapor da água foi determinada pela Equação 5 (ASTM Standards, 1995)

$$[PVA] = \frac{g \text{ H}_2\text{O} \cdot x}{A}$$

Equação 5

Onde:

[PVA] = permeabilidade ao vapor de água (g.mm.cm⁻²);

g H₂O = quantidade de água absorvida (g) pela amostra;

x = espessura do filme (mm);

A = área da superfície de contato da amostra (cm²).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterização dos polímeros

3.1.1 Determinação da Massa Molar Viscosimétrica (M_v) dos Polímeros

A viscosidade da solução é uma medida do tamanho ou extensão em espaço entre moléculas de polímeros. Staudinger observou que se pode utilizar a viscosidade de uma solução como medida de massa molecular de um polímero. A correlação entre a massa molecular/viscosidade e a simplicidade da técnica torna este método uma importante ferramenta de caracterização de polímeros (Billmeyer Jr., 1984). A partir dos valores obtidos para viscosidade inerente, construiu-se o gráfico em função das concentrações dos polímeros PHB e PC, conforme Figura 1.

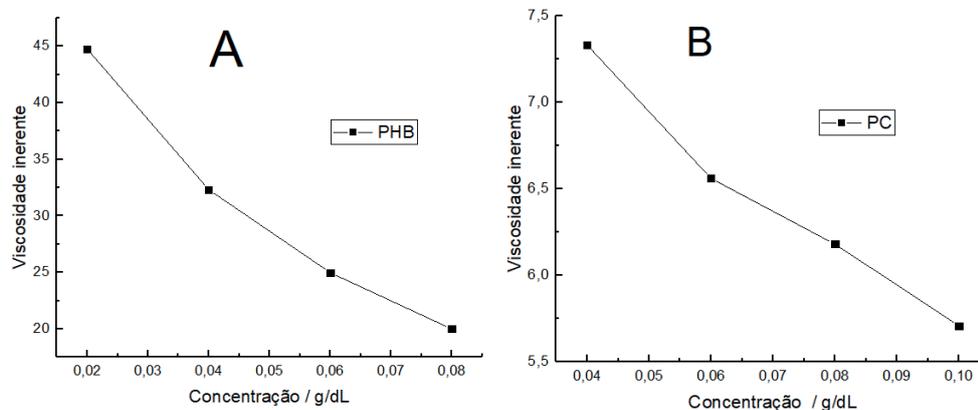


Figura 1 Gráfico da viscosidade inerente *versus* concentração (g/dL) de soluções de (A) PHB e (B) PC

A partir do gráfico entre viscosidade inerente e concentração das soluções de PHB, foi possível obter o valor da viscosidade intrínseca $[\eta]$ pela extrapolação à concentração zero e usando a equação da reta com $r^2 = 0,9574$, foi obtida a viscosidade intrínseca que está relacionada à massa molar viscosimétrica dos polímeros pela fórmula de Mark-Houwink, conforme Equação 1. Sabendo que $[\eta] = 50,829$ e que as constantes de Mark Houwink encontradas na literatura para o PHB são $a = 0,78$ e $K = 1,18 \times 10^{-4} \text{ g/dL}$, (Polymer Data Handbook, 1999) obteve-se o valor de $16,72 \times 10^6 \text{ Da}$ para a massa molar viscosimétrica do PHB.

Assim como para o PHB, o valor da viscosidade intrínseca $[\eta]$ do PC foi obtido pela equação da reta com $r^2 = 0,9753$ do gráfico da Figura 1B. Sabendo que $[\eta] = 8,2811$ e que as constantes de Mark Houwink encontradas na literatura para o PC são $a = 0,74$ e $K = 3,01 \times 10^{-4} \text{ g/dL}$ (American Polymer Standards Corporation, 2012), obteve-se o valor de $10 \times 10^5 \text{ Da}$ para a massa molar viscosimétrica do PC.

3.1.2 Espectroscopia no Infravermelho (FTIR)

A caracterização dos polímeros (PHB e PC) e suas blendas foram feitas pela espectroscopia no infravermelho, técnica utilizada para caracterizar e comparar os polímeros puros com suas blendas através de grupos funcionais. A partir da Figura 2A, observa-se a presença das bandas características de éster no espectro do PHB: o estiramento C=O em 1722 cm^{-1} e o estiramento C-O-C em, aproximadamente, 1250 cm^{-1} . Isso prova que o PHB é um poliéster. O espectro apresentou, também, uma banda característica em 3435 cm^{-1} , sendo esta característica de OH, neste caso, terminal de cadeia.

No espectro do policarbonato (Figura 2B), encontram-se as bandas características de éster, estiramento C=O entre 1762 e 1789 cm^{-1} e estiramento C-O em 1250 cm^{-1} . As bandas características de anel aromático também estão presentes no espectro do PC: estiramento =C-H em 3039 cm^{-1} , bandas de combinação e harmônica entre 1897 e 2231 cm^{-1} , deformação =C-H em 815 cm^{-1} . Esta última banda

caracteriza o anel aromático como sendo dissubstituído na configuração para.

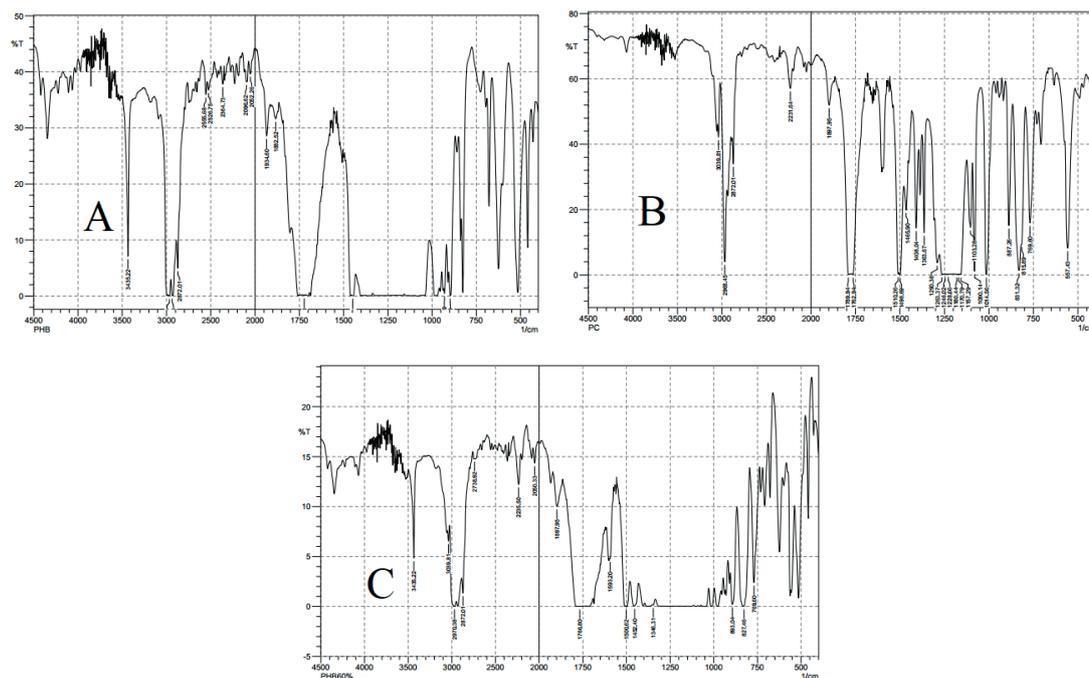


Figura 2 Espectro FTIR do polímero 100% PHB (A) PHB, (B) PC e (C) PHB:PC na proporção de 60:30

O espectro da blenda entre PHB e PC, Figura 2C, demonstram a junção das principais bandas características de ambos os polímeros. Todas as blends nas composições variadas apresentaram comportamento parecido em seus espectros. Na composição em questão, observou-se uma redução da banda OH terminal em 3435 cm^{-1} (característica do PHB) e um aumento das bandas de combinação e harmônica entre 1897 e 2235 cm^{-1} (características do PC). Observam-se, também, as bandas de deformação $=\text{C-H}$ em 827 cm^{-1} e estiramento $=\text{C-H}$ em 3039 cm^{-1} características do PC. As bandas de estiramento C=O em 1766 cm^{-1} , estiramento CH_2 em 1346 cm^{-1} e estiramento C-O em 1250 cm^{-1} são características tanto do PHB quanto do PC.

3.1.3 Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC)

Para a análise calorimétrica foram feitas três varreduras, das amostras 100% PC, 100% PHB e 70/30 (PHB/PC) em DSC. A Figura 3 mostra os termogramas do ciclo de aquecimento.

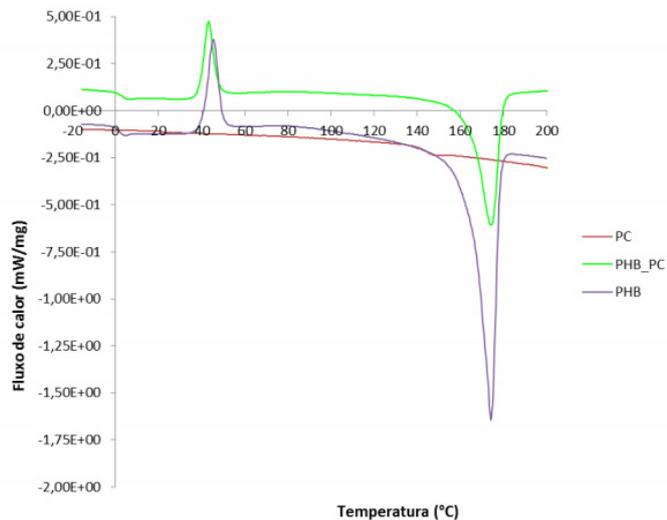


Figura 3 Curva de análise de DSC para PHB, PC e PHB/PC (70:30)

A amostra de PHB apresentou T_m (temperatura de fusão) de aproximadamente 174°C, sendo o teórico de 175°C. A T_c (temperatura de cristalização) de aproximadamente 45°C, sendo o teórico 50°C e mostrou uma T_g (temperatura de transição vítrea) de aproximadamente 5°C, sendo que o teórico de 5°C a -10°C. A amostra de PC possui apenas o valor de T_g , característico das regiões amorfas, em aproximadamente 146°C, sendo o teórico em torno de 150°C. A blenda mostrou valores aproximados de T_m em 173°C, T_c em 42°C e T_g em 4°C.

Observa-se que os resultados obtidos pelo DSC se aproximam muito dos valores teóricos e que a blenda apresentou valores mais próximos dos de PHB, sendo este o majoritário da composição 70:30 (PHB/PC), desta forma o PC não interferiu no comportamento térmico do PHB.

3.2 Análise das Propriedades FÍSICO-QUÍMICAS das Blendas

3.2.1 Determinação da Densidade

Observa-se na Figura 4 que os valores de densidade das blendas estão entre os valores de densidade dos polímeros puros (PHB e PC), de forma linear e proporcional até 30%. Podendo ser um indicativo de parcial-miscibilidade, dependendo da composição da blenda.

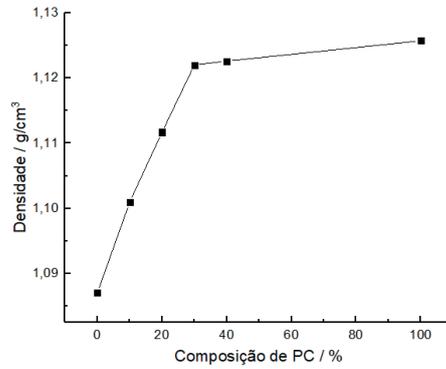


Figura 4 A variação da densidade em relação a porcentagem do PC

3.2.2 Propriedades de Intumescimento

O índice de intumescimento dos polímeros pode prever alterações nas dimensões de uma peça, seja por absorção de umidade ou do fluido que nela está contido. Observa-se em geral, que as amostras das blendas conseguem atingir o equilíbrio de intumescimento a partir do quinto dia. Conforme Figura 5, podemos observar que o aumento do intumescimento foi concomitante ao aumento da concentração de PC.

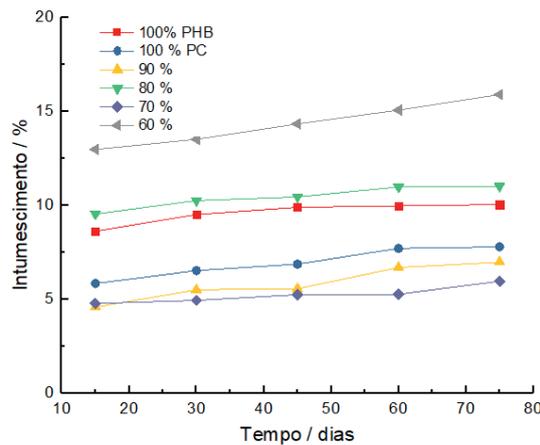


Figura 5 Intumescimento (%) em função do tempo (dias) dos filmes PHB em relação à quantidade de PC

3.2.3 Permeação ao Vapor D'água

A Figura 6, apresenta os resultados obtidos após 16 dias de monitoramento do ensaio de vapor d'água, com amostras do PHB e PC puros e suas as blendas PHB:PC 90:10, 80:20, 70:30 e 60:40.

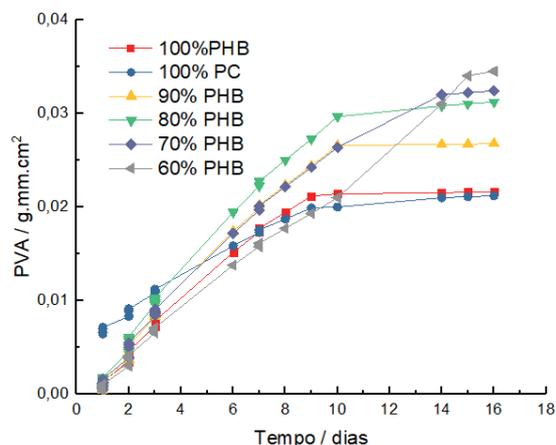


Figura 6 Permeabilidade ao vapor d'água do PHB, PC e suas blendas

Observou-se que o ganho de massa das células de permeabilidade aumentou consideravelmente até o 10º dia para todas as blendas atingindo um equilíbrio, exceto a blenda de PHB/PC (60:40) que variou até o 14º dia. Assim como na densidade esta composição mostrou um comportamento diferenciado comparado com as demais. Os valores no décimo dia atingiram para o PHB 0,0214 g.mm.cm⁻² e para o PC 0,0200 g.mm.cm⁻². A blenda PHB/PC (60:40) foi a que teve maior permeabilidade atingindo 0,0345 g.mm.cm⁻² no 16º dia, isto pode ser considerado levando em conta a heterogeneidade da mistura, não havendo uma única fase entre os componentes.

4 | CONCLUSÃO

As características físico-químicas dos polímeros PHB e PC diferem em muitos aspectos, como a massa molar viscosimétrica (Mv) do PHB é 10 vezes maior que a do PC. Nos espectros no infravermelho apesar de possuírem bandas semelhantes, é possível identificar as características estruturais individuais. As composições testadas com concentrações superiores a 50% de PC, apresentaram difícil homogeneização, dificultando a obtenção de filmes e separação de fases. O intumescimento avaliado mostrou que os filmes atingiram equilíbrio a partir do quinto dia, podendo observar que o aumento do intumescimento foi simultâneo ao aumento da concentração de PC nas amostras, fato que também pode ser observado no ensaio de permeabilidade ao vapor d'água. A densidade mostrou um comportamento tendendo, a linearidade, em função da concentração de PC, até uma determinada composição. Esses resultados indicam que a incorporação do PC no PHB pode ser de até 30% no que diz respeito à parcial-miscibilidade da mistura, não promovendo alterações significativas nas propriedades avaliadas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Pipe artigo 170 pela bolsa de iniciação científica, a FURB, e ao Prof. Dr Marco Aurélio de Araujo *in memoria*, pela doação do PC.

REFERÊNCIAS

- ALBERTI, Leila Denise. **Propriedades físico-químicas e mecânicas de compósito de Poli(hidroxitirato) PHB**. 2013. 126 f. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2013.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS ASTM E 96-95. **Standard test method for water vapor transmission of materials**. Annual Books Of ASTM Standards, p. 785– 792, 1995.
- BARCELLOS, I. O. **Estudo de blendas poliméricas e hidrogéis com aplicações na área biomédica**. 1998. 176 f. Tese (Doutorado em Química). Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina. 1998.
- BILLMEYER JR., F. W. **Textbook of Polymer Science** 3 ed, New York: John Wiley & Sons, 1984. 578 p.
- BRITO, G. F. et al. Biopolímeros, **Polímeros Biodegradáveis e Polímeros Verdes**. Revista Eletrônica de Materiais e Processos v. 6.2, p. 127 – 139, 2011.
- BUCCI, D.Z., TAVARES, L.B.B., SELL, I. (2007), **Biodegradation and physical evaluation of phb packaging**. Polymer Testing, 26(6), 908-915.
- COELHO, Nadjane S.; ALMEIDA, Yêda; VINHAS, Glória M. **A Biodegradabilidade da Blenda de Poli (b-Hidroxitirato-co-Valerato)/Amido Anfótero na Presença de Microrganismos**. Polímeros: Ciência e Tecnologia, v. 18, n. 3, 2008.
- COSTA, L.M.F; MENDES, W.T.N.; ROA, J.P.B ; RIBEIRO, P.L.D.; CARVALHO, A.D.Jr. **Influência do copolímero P(HB-CO-CL) nas propriedades térmicas do PHB e do PCL**, in: Anais do 12º Congresso Brasileiro de Polímeros, Florianópolis - SC (2013).
- GODBOLE, S. et al. **Preparation and characterization of biodegradable poly-3-hydroxybutyrate-starch blend films**. **Bioresource Technology**. v. 86, p. 33 – 37, 2003.
- IRIONDO, P.; IRUIN, J. J.; FERNANDEZ-BERRDI, M. J. **Macromolecules** v. 29, p. 5605, 1996.
- KUO, S.W.; LIU, W.C. **Miscibility enhancement through hydrogen bonding interaction of biodegradable poly(3-hydroxybutyrate) blending with poly(styrene-co-vinyl phenol) copolymer**. Journal of Applied Polymer Science. v. 119, p. 300 – 310, 2012.
- Mark-Houwink **Parameters for Polymers**. American Polymer Standards Corporation. Disponível em: <http://www.ampolymer.com/a%20&%20K.html> Acesso em: 23 mar. 2019.
- MONTES, ML Iglesias et al. **Effect of Natural Glycerol Tributyrates as Plasticizer and Compatibilizer on the Performance of Bio-Based Polylactic Acid/poly (3-hydroxybutyrate) Blends**. Journal of Polymers and the Environment, p. 1-10, 2019.
- QUENTAL, A.C; CARVALHO, F. P. de; TADA, E.S.; FELISBERTI, M.I. **Blendas de PHB e seus copolímeros: miscibilidade e compatibilidade**. Química Nova, São Paulo, Vol.33, no.2, 2010.

YANG, D. Z.; HU, P. **Miscibility, crystallization, and mechanical properties of poly(3-hydroxybutyrate) and poly(propylene carbonate) biodegradable blends.** Journal of Applied Polymer Science v. 109, p. 1635 – 1642, 2008.

ZHANG, L. et al. **Biodegradable polymer blends of poly(3-hydroxybutyrate) and poly(DL-lactide)-co-poly(ethylene glycol).** Journal of Applied Polymer Science v. 65, p. 1849 – 1856, 1998.

WENG, Yun-Xuan et al. **Biodegradation behavior of P (3HB, 4HB)/PLA blends in real soil environments.** Polymer Testing, v. 32, n. 1, p. 60-70, 2013.

RESINAS DE POLIÉSTER INSATURADO E SUA APLICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO DE EMBARCAÇÕES EM FIBERGLASS

Patricia Reis Pinto

Centro Universitário Estadual da Zona Oeste (UEZO), Unidade de Engenharias, Tecnologia em Polímeros
Rio de Janeiro – RJ

Sérgio da Silva Feitosa

Centro Universitário Estadual da Zona Oeste (UEZO), Unidade de Tecnologia em Construção Naval
Rio de Janeiro-RJ

Alaíde de Sá Barreto

Centro Universitário Estadual da Zona Oeste (UEZO), Unidade de Farmácia, Química Biológica
Rio de Janeiro – RJ

RESUMO: O compósito em fibra de vidro conjugado à resina de poliéster insaturado, quando comparado ao aço utilizado na construção naval, apresenta vantagens tanto na resistência química, diminuindo os efeitos corrosivos da atmosfera salina, quanto na resistência mecânica em relação ao peso específico. As resinas comerciais empregadas no processo de laminação em fiberglass são poliésteres insaturados de baixo peso molecular dissolvidos em monômeros vinílicos. O monômero vinílico mais empregado é o estireno. O monômero vinílico tanto é usado para dissolver o polímero de poliéster e controlar a viscosidade da resina, como para participar

da reação de cura, promovendo as ligações cruzadas entre as cadeias de poliésteres e a consequente solidificação da peça em *fiberglass*. A reação de cura ocorre a temperatura ambiente, permitindo moldagem de grandes peças a frio, a pressão atmosférica, com boa estabilidade dimensional pós cura. Os tipos de poliésteres insaturados mais empregados na indústria naval são derivações dos poliésteres ortoftálicos, isoftálicos, das resinas bisfenólicas e das resinas ester-vinílicas. Cada uma delas com suas particularidades e especificidades.

PALAVRAS-CHAVE: Resinas de poliéster insaturado, Reação de cura, Embarcações em fiberglass

INSATURATED POLYESTER RESINS AND ITS APPLICATION IN BUILDING VESSELS IN FIBERGLASS

ABSTRACT: The composite in fiberglass conjugated to unsaturated polyester resin when compared to the steel used in shipbuilding, presents advantages both in chemical resistance, reducing the corrosive effects of the saline atmosphere, and in the mechanical resistance in relation to the specific weight. The commercial resins employed in the fiberglass lamination process are low molecular weight unsaturated polyesters dissolved in vinyl monomers. The

most commonly used vinyl monomer is styrene. The vinyl monomer is both used to dissolve the polyester polymer and to control the viscosity of the resin, as well as to participate in the curing reaction, promoting the crosslinks between the polyester chains and the consequent solidification of the fiberglass. The curing reaction occurs at room temperature, allowing molding of large parts at cold, atmospheric pressure, with good post-cure dimensional stability. The types of unsaturated polyesters most used in the shipbuilding industry are derivations of orthophthalic, isophthalic polyesters, bisphenolic resins and styrene-vinyl resins. Each one of them with its peculiarities and specificities.

KEYWORDS: Unsaturated polyester resin, Curing reaction, Fiberglass vessels

1 | INTRODUÇÃO

A primeira embarcação que se têm registro, construído com material polimérico reforçado com fibra de vidro foi o veleiro *Tod Dinghy 12'*, na década 1940, na Europa. Isto foi possível graças à expansão tecnológica que permitiu a polimerização do compósito a temperatura ambiente. As construções das embarcações em compósitos foram impulsionadas durante a Segunda Guerra Mundial para evitar que minas magnéticas flutuantes aderissem aos cascos metálicos dos navios, e também pela escassez do aço. Com o fim da guerra, essa tecnologia foi utilizada para aplicações civis. (ROBERT, 1996)

No Brasil, somente em meados da década de 1960 o uso deste material passou a ser difundido no mercado naval. Na década de 1970, surgiram as primeiras empresas especializadas na produção de equipamentos e acessórios náuticos como Carbrasmár, DM Náutica, Mar azul, Cobra Náutica, entre outras. A indústria náutica de esporte e lazer despontou na década de 1980. Simultaneamente houve um crescimento no número de estaleiros e surgiram novas operações industriais também nas regiões sul e nordeste. Em meados dos anos 90, o mercado começou a confirmar seu potencial. Aliás, as regiões sudeste e sul absorvem cerca de 85% dos estaleiros. São Paulo detém a maior parte (35%), sendo seguido por Santa Catarina e Rio de Janeiro.

O compósito de matriz polimérica reforçado com fibra de vidro, além de possibilitar a construção de peças de grandes dimensões, também tornou possível a construção de estruturas monobloco. Paralelamente ao desenvolvimento de novos materiais, surgiu uma nova concepção de projeto, possibilitando a construção de diversas conformações geométricas sem a necessidade da observância ao projeto hidrocônico. No processo construtivo, possibilitou-se a redução, ou até mesmo a eliminação completa de soldas, parafusos e rebites, entre outras vinculações. (LOPES, 1989; ROBERT, 1996)

A fibra de vidro conjugada com uma matriz polimérica quando comparada ao aço utilizado na construção naval, apresenta vantagens tanto na resistência química,

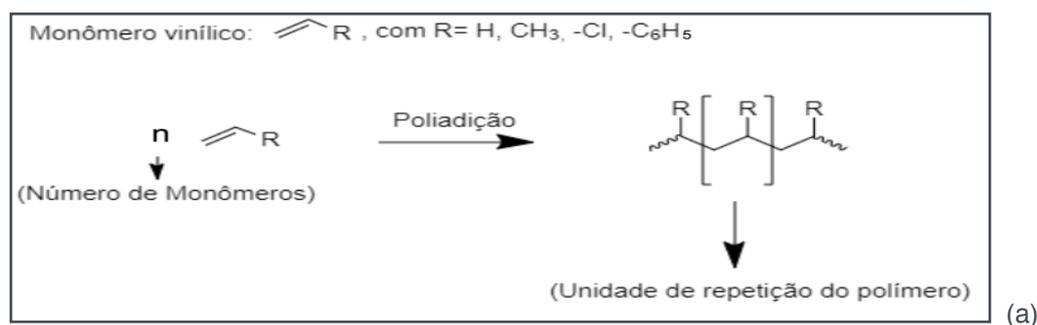
diminuindo os efeitos corrosivos da atmosfera salina, quanto na resistência mecânica em relação ao peso específico, uma vez que pode-se alcançar resistência estrutural comparável ao aço com menor peso específico. Além de fornecer um material com maior resistência a intempérie. (CARVALHO, 2010)

O presente trabalho propõe apresentar às principais resinas poliméricas empregadas no compósito de fibra de vidro e resina de poliéster insaturado para a fabricação em casco e convés de embarcações.

2 | NOÇÕES GERAIS SOBRE POLÍMEROS E REAÇÕES DE POLIMERIZAÇÃO

Polímeros são materiais de alto peso molecular constituídos de longas cadeias carbônicas. Cada cadeia polimérica é formada pela repetição de pequenas unidades estruturais ligadas por covalência. As muitas unidades de repetição (meros) de cada macromolécula são geradas a partir de pequenas moléculas (monômeros) que são as matérias-primas do polímero. As cadeias poliméricas são obtidas por meio das reações de polimerização, essas reações são classificadas por meio do mecanismo de reação levando em consideração a natureza do monômero. (MANO, 2004)

Os monômeros insaturados, tais como os monômeros vinílicos, apresentam obrigatoriamente pelo menos uma dupla ligação entre carbonos e durante a reação de polimerização ocorre a ruptura da ligação dupla e a formação de duas ligações simples. O polímero é formado por sucessivas adições de monômeros. Esse tipo de polimerização é designado poliadição ou polimerização em cadeia. Já os polímeros obtidos por reação de policondensação são formados, geralmente, pela reação de dois tipos de monômeros diferentes (Figura1). Ocorre a reação de condensação entre os grupamentos funcionais diferentes e reativos entre si, com a eliminação de moléculas pequenas, como por exemplo a reação do grupamento ácido carboxílico e álcool com a formação do grupo éster e a eliminação de molécula de H_2O . Essa reação é reversível, ou seja, ocorre simultaneamente nos dois sentidos da reação química, o que afeta as propriedades de degradação hidrolítica das resinas de poliéster. (ODIAN, 1991)



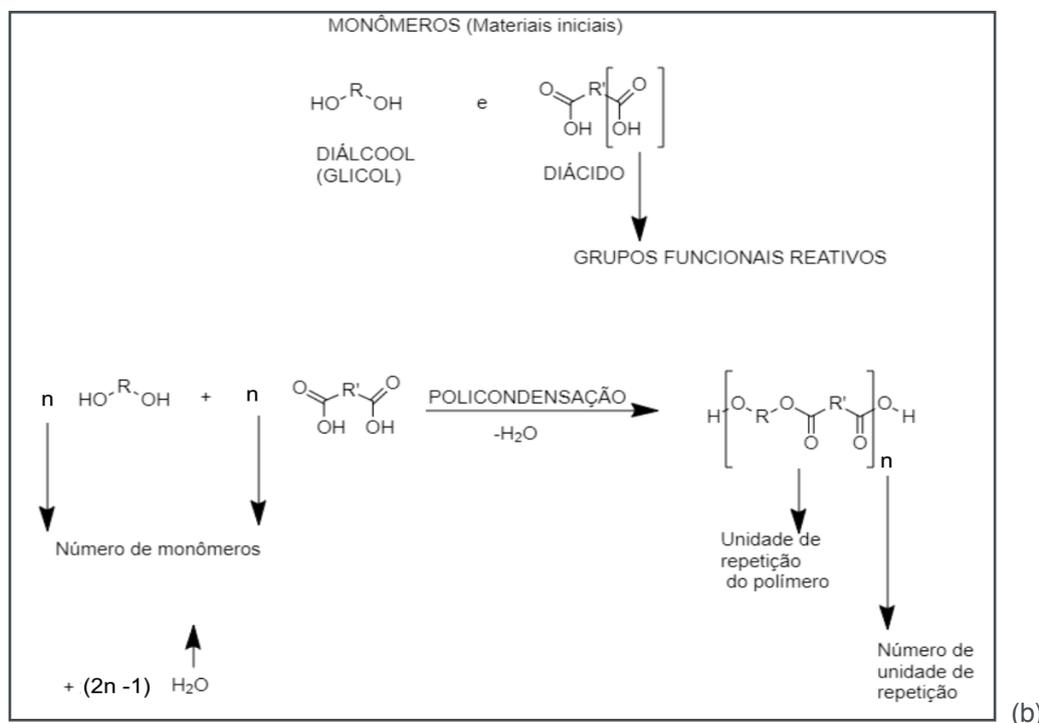


Figura1: Esquema de formação da cadeia polimérica: (a) poliadição de monômeros vinílicos, (b) policondensação para obtenção de poliéster

Considerando o mecanismo envolvido no processo, a poliadição é uma reação em cadeia que apresenta três diferentes etapas reacionais: a iniciação, a propagação e a terminação; todas as etapas com velocidade e mecanismos diferentes. Já na policondensação, a reação é em etapas e não há distinção reacional entre o início da formação do polímero e o crescimento macromolecular. Na policondensação, o crescimento da cadeia é vagaroso, aleatório, e a cadeia somente alcança peso molecular elevado após o tempo suficiente para a inter-condensação dos segmentos menores (dímeros, trímeros, oligômeros) formados. O peso molecular resultante é comumente da ordem de 10^4 g/mol, isto é, uma ordem de grandeza bem abaixo do peso molecular obtido nas poliadições. Muitas vezes os polímeros de baixo peso molecular obtidos por policondensação são empregados como pré-polímeros, com subsequente reação de cura para obtenção de artefatos. (MANO, 2004)

Embora efeitos térmicos possam causar a ruptura de uma ligação dupla em monômeros insaturados, as reações de poliadição, em geral, não são auto-iniciadas. A iniciação da polimerização pode ser provocada por agentes físicos ou químicos. Dentre os agentes físicos, destacam-se as radiações eletromagnéticas de baixa energia, as radiações eletromagnéticas de alta energia e os elétrons. Dentre os agentes químicos incluem-se compostos denominados iniciadores. Os principais iniciadores utilizados nas polimerizações são os peróxidos orgânicos (R-O-O-R) ou compostos nitrogenados contendo grupamentos azo (-N=N-). A quantidade de iniciador empregada é calculada em relação ao monômero e situa-se na faixa de 0,5-4% m/m. A velocidade da reação de polimerização depende tanto da temperatura como da concentração do iniciador. Os iniciadores, por serem bastante reativos,

possuem limitado tempo de vida útil, perdem a eficiência com o tempo. Eles devem ser guardados em lugares frescos, longe de calor ou qualquer fonte de faísca e luz, bem como devem ser estocados separadamente. (COUTINHO, 2006)

Quanto ao comportamento mecânico, os polímeros podem ser classificados como termoplásticos e termorrígidos. Os termoplásticos são polímeros constituídos de cadeias lineares ou ramificadas que sob ação de um solvente adequado se solubilizam e sob ação do calor fundem e fluem. Aplicando-se temperatura e pressão podem ser moldados, solidificando-se ao resfriar. Novas aplicações de temperatura e pressão reiniciam o processo; portanto, são recicláveis. Os termorrígidos, também conhecidos por termofixos, termo-endurecidos, polímeros reticulados, são materiais que possuem as suas cadeias poliméricas principais unidas covalentemente por ligações cruzadas. Essas ligações cruzadas são formadas por pontes de átomos, por reações posteriores as reações de obtenção do polímero. O processo de reticulação é também conhecido por reação de cura. Quando as ligações cruzadas são obtidas por compostos a base de enxofre, o nome da reação de cura é designado por vulcanização. No entanto, muitas substâncias podem ser empregadas como agente de reticulação ou agente de cura, no caso do resina de poliéster insaturado, o agente de cura é o monômero estireno. Após a reação de reticulação, o material termorrígido torna-se insolúvel e infusível. (CALLISTER, 2002; CANEVAROLO, 2010; ANDRADE, 2001)

3 | RESINAS DE POLIÉSTER INSATURADO

Os compostos de poliésteres insaturados diferem dos poliésteres saturados por possuírem ligações duplas na cadeia principal. Serão essas ligações duplas que serão empregadas no processo de reticulação em reações subsequentes para obtenção do artefato sólido. Os poliésteres insaturados são polímeros obtidos por policondensação da reação de misturas estequiométricas de diácidos ou anidridos saturados e insaturados com dióis. As resinas comerciais empregadas no processo de laminação em fiberglass são poliésteres insaturados de baixo peso molecular (de 65% a 75%) dissolvidos em monômeros vinílicos (de 25% a 35%). A função do monômero vinílico, em geral estireno, é a de dissolver e controlar a viscosidade dos oligômeros de poliésteres insaturados (pré-polímero), de maneira que seja adequada ao manuseio e de participar da reação de cura promovendo as ligações cruzadas entre as cadeias de poliésteres. O grau de insaturação (duplas ligações) tanto do poliéster, quanto do monômero, é que irá definir a complexidade e as características físicas da estrutura reticulada. (JADHAV, 1969)

A reação de reticulação é iniciada por ação de peróxidos, em geral o peróxido de metil etil cetona (MEK), para polimerização do monômero vinílico (estireno) por meio de reações de poliadicação via radicalar. As ligações peroxídicas possuem uma

energia de ligação em torno de 40Kcal/mol. A ruptura da ligação peroxídica ocorre geralmente com o auxílio de aquecimento. Para que o processo seja realizado a temperatura ambiente, compostos a base de cobalto (aceleradores) são adicionados à resina para auxiliar a ruptura das ligações peroxídicas do iniciador MEK e gerar os radicais livres necessários para o início da reação de reticulação. (COUTINHO, 2006; ODIAN 1991)

O grau de reticulação influenciará bastante nas propriedades de dureza, flexibilidade, resistência ao calor, resistência a abrasão, entre outras. Embora essas propriedades também possam ser modificadas por substituição de glicóis e ácidos saturados na estrutura química do poliéster. (RISSON, 1998; MANO, 2004; ODIAN,1991)

As resinas comerciais de poliéster insaturados são portanto, sistemas bicomponentes (componente A e B) onde tem-se o sistema catalítico constituído pelo iniciador (peróxido) e o pré-polímero adicionado ao monômero vinílico (poliéster + estireno + compostos a base de cobalto). A mistura do poliéster de baixo peso molecular com os monômeros vinílicos fornece um líquido de aspecto xaroposo e de fácil manipulação. A adição do catalizador/iniciador promove a reação de cura (processo de solidificação) a temperatura ambiente, permitindo moldagem de grandes peças a frio, a pressão atmosférica, com boa estabilidade dimensional pós cura. (JADHAV, 1969)

4 | TIPOS DE POLIÉSTERES INSATURADOS MAIS EMPREGADOS NA INDÚSTRIA NAVAL

As propriedades requeridas da peça em *fiberglass* dependem, entre outras coisas, da resina escolhida para o processamento do artefato. As resinas comerciais são categorizadas em função dos reagentes empregados para a obtenção delas. Os principais tipos de resinas são poliésteres ortoftálicos, poliésteres isoftálicos, resinas de poliéster bisfenólicas e resinas éster-vinílicas. (JADHAV, 1969; AUGUSTO, 1968)

4.1 Poliésteres ortoftálicos

A resina polimérica do tipo poliéster ortoftálica é usualmente obtida da reação do ácido ou anidrido ortoftálico, anidrido maleico e o propileno glicol.

No poliéster ortoftálico, os dois grupamentos provenientes do ácido ortoftálico (ou do seu anidrido), em função do seu pequeno espaçamento, fornecem um poliéster de cadeia relativamente curta. O anel aromático oriundo do anidrido ortoftálico constituinte da cadeia deste poliéster, gera um volume entre as cadeias poliméricas que minimizam as forças intermoleculares cadeia-cadeia, favorecendo a solubilização dessa resina no diluente (estireno). O poliéster formado por meio desta reação possui quatro grupamentos éster por unidade repetitiva. As ligações éster

são suscetíveis a hidrólise e isso diminui a resistência dessa resina à degradação hidrolítica. A Figura 2 apresenta a reação para obtenção da resina tipo ortoftálica.

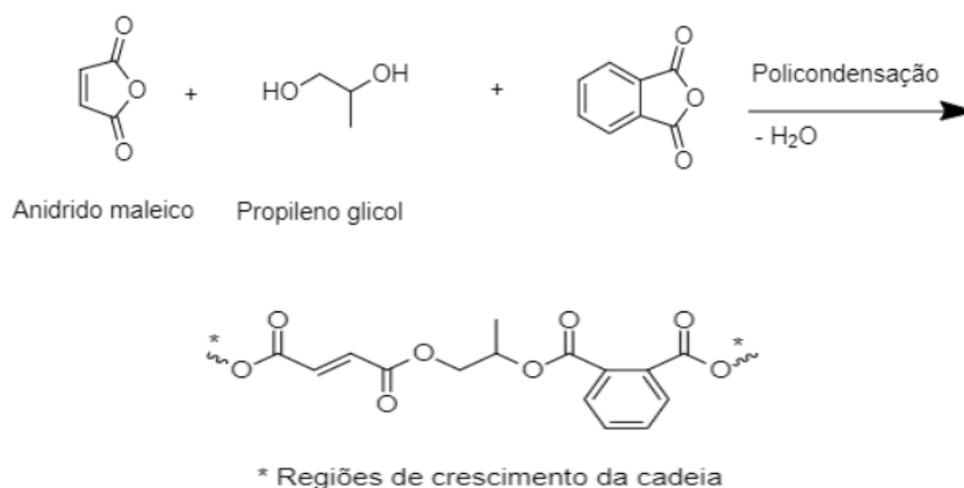
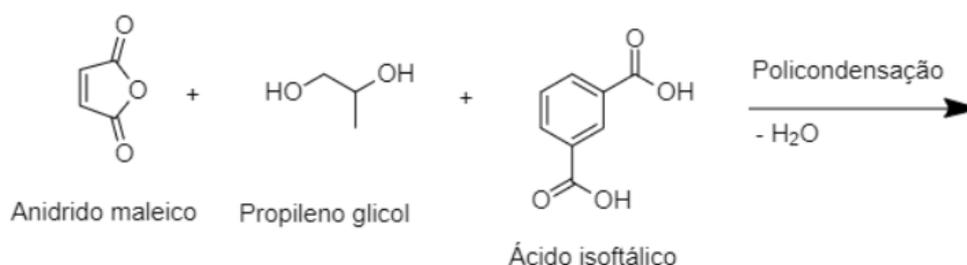
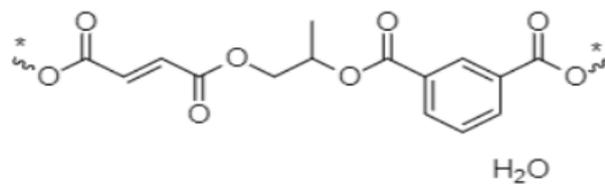


Figura 2: Representação da síntese do polímero de poliéster ortoftálico

4.2 Poliésteres isoftálicos

Poliésteres isoftálicos são obtidos substituindo o ácido ortoftálico pelo ácido isoftálico. Este, por apresentar maior distância entre os grupamentos ácidos, permite a obtenção de polímeros com cadeias carbônicas mais lineares e extensas. As forças intermoleculares serão maiores quando comparada ao poliéster ortoftálico, isto implica em maior viscosidade da resina líquida, que necessita de maiores teores de diluição em estireno. No entanto, maiores teores de diluentes podem afetar a reação de cura e prejudicar o artefato final. Uma maneira de contornar esse problema é a substituição do propileno glicol pelo neo-pentil glicol durante a reação de obtenção do poliéster. A estrutura mais ramificada do neo-pentil glicol favorecerá a solubilidade do poliéster no diluente. (NERCOLINI, 2017; ODIAN, 1991; JADHAV, 1969; AUGUSTO, 1978). A Figura 3 mostra a representação da cadeia polimérica de um poliéster insaturado tipo isoftálico.





* Regiões de crescimento da cadeia

Figura 3: Representação da reação de obtenção do poliéster isoftálico

4.3 Poliésteres Bisfenólicos

As resinas bisfenólicas são obtidas pela condensação do óxido de propileno (derivado epóxi) com o composto aromático bisfenol A, gerando uma estrutura química com grupamentos hidroxilados nas extremidades que reage por condensação em etapa subsequente com o diácido insaturado. A Figura 4 apresenta a estrutura de uma resina do tipo bisfenólica. Os poliésteres bisfenólicos apresentam poucas ligações ésteres por unidade repetitiva, o que confere ao polímero boa resistência à degradação hidrolítica. A presença de grupos aromáticos na cadeia principal, ligados na posição (1,4), confere a estrutura linearidade que favorece o aumento das forças intermoleculares cadeia-cadeia, isso pode ter efeito na diminuição da solubilidade no diluente. As reações de reticulação se darão nas extremidades do poliéster bisfenólico, melhorando propriedades térmicas e mecânicas. (NERCOLINI, 2017; ODIAN, 1991; JADHAV, 1969; AUGUSTO, 1978)

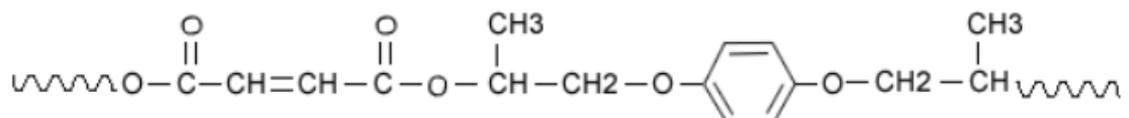
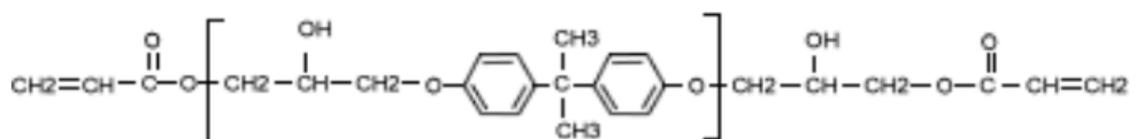


Figura 4: Representação simplificada das cadeias das resinas de poliéster Bisfenólicas

4.4 Poliésteres éster-vinílicas

Este tipo de poliéster é obtido pela condensação da epocloridrina (derivado epóxi) com o bisfenol A, seguida de modificação com derivados acrilados. A estrutura molecular do polímero apresenta grupos ésteres próximo a ligações vinílicas. A Figura 5 mostra a representação simplificada de uma cadeia da resina éster-vinílica.



As ligações vinílicas, duplas ligações carbono-carbono, que são os pontos ativos para a formação das ligações cruzadas, se localizam nas extremidades das cadeias poliméricas. A ausência das ligações cruzadas nas regiões internas das cadeias, permite que o polímero absorva energia tendo boa resistência ao impacto. Mesmo apresentando baixo peso molecular as resinas éster-vinílicas têm alta resistência química devido à pequena relação de grupos ésteres por instaurações da cadeia. Outro fator importante é a presença dos grupos hidroxilados que conferem maior polaridade a molécula. As características anfifílica da resina favorecem o processo de adesão a diversos substratos. (NERCOLINI, 2017; ODIAN, 1991; JADHAV, 1969; AUGUSTO, 1978)

5 | AS RESINAS DE POLIÉSTER INSATURADO E SUAS APLICAÇÕES

As resinas de poliéster insaturado são materiais extremamente versáteis. Suas propriedades de flexibilidade e rigidez podem ser alteradas substituindo um dos componentes no processo de síntese da resina. Em geral, as estruturas com maiores teores de segmentos alifáticos fornecem polímeros mais flexíveis e, em contrapartida, maiores teores de segmentos aromáticos na cadeia principal fornecem estruturas mais rígidas. A viscosidade da resina é um fator importante, pois deve ser adequada para promover a molhabilidade do material estruturante (da fibra de vidro) antes da reação de cura, para quando a reação de reticulação ocorrer durante o processo de laminação, todo o material estruturante esteja envolto pela matriz polimérica minimizando possíveis falhas de adesão entre as fases do compósito. (ROBERTS, 1984; DANIEL, 1994; HULL, 1996; NASSEH, 2011)

As resinas ortoftálica e isoftálica comerciais apresentam viscosidades comparáveis. A resina ortoftálica é a mais comum e que apresenta melhor relação custo/benefício. Em alguns casos, para a construção de cascos de embarcações, emprega-se a resina isoftálica para a área que ficará abaixo da linha d'água e a ortoftálica para a área que ficará acima da linha d'água. A resina bisfenólica é mais empregada em reparos de estruturas e a resina éster-vinílica, considerada uma resina de alto desempenho, é utilizada quando maiores propriedades químicas e mecânicas são requeridas da embarcação.

Além das resinas de poliéster insaturadas comerciais utilizadas para obtenção do compósito propriamente dito, também são empregadas resinas a base de poliéster, epóxi, ou éster-vinílica, acrescidas de cargas, pigmentos e aditivos para melhorar o acabamento de superfícies de cascos e demais peças. Essas resinas são denominadas *gelcoat* e produzem um filme de revestimento externo utilizado para proteção. O *gelcoat* é muito utilizado no setor náutico por apresentar elevada resistência à degradação, além de excelente acabamento. Sua utilização ocorre por

aplicação diretamente no molde, é normalmente empregado na cor branca, contudo, o *gelcoat* é fabricado em cores diversas, permitindo que o mesmo seja usado não só como camada protetora, mas também como acabamento cosmético. (NERCOLINI, 2017)

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Cristina Tristão de (Org.). **Polímeros – dicionário**. Rio de Janeiro: Interciência, 2001

AUGUSTO, José Marcondes Aguinelli. **Efeito do emprego de fibras de vidro curtas como reforço de resinas termo fixas**. 1978. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade Estadual de Campinas. Campinas

CALLISTER JÚNIOR, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

CANEVAROLO, Sebastião J.R. **Ciência dos Polímeros**. 3 Ed. Rio de Janeiro: Artriber, 2010

CARVALHO, Augusto. **Fiberglass versos aço Especificações, instalações e manutenção de equipamentos de fibreglas para ambientes agressivos**. Ed 2. Rio de Janeiro: Editora do Brasil, 1996.

DANIEL, I.M.; ISHAI, O, **Engineering Mechanics Of Composite Materials**, Oxford University Press, 1994

HULL, D and CLYNE, TW, **An Introduction to Composite Materials**, 2nd ed, Cambridge University Press, 1996

JADHAV J Y, KANTOR S W – **Polyester**. In: Mark H F, Gaylord N G & Bikales N M. Encyclopedia of Polymer Science and Technology; John Wiley, Nova York, 1969

LOPEZ, Setti. M. **Tecnologia do Fiberglass**. 1 ed. Rio de Janeiro: Isiz, 1989

MANO, Eloisa Bisotto. MENDES, Claudio. **Introdução a polímeros**. 2. Ed. São Paulo:Edgard Blüchen, 2004

NASSEH, Jorge. **Manual de construção de barcos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Barracuda Advanced Composites, 2011.

NERCOLINI, Eduardo. **Investigação das Propriedades Físicas e Mecânicas de Peças em Compositos Utilizando Gelcoat e Tinta Poliéster**. 2017. 98 p. Defesa de Tese (Bacharelado em Engenharia Naval). Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Engenharias da 28 Mobilidade, Joinville, 2017

ODIAN, G. **Principles of Polymerization**. 3rd Ed. Local: Wiley-Interscience Publication, 1991

RISSON, P. et al; **Reaproveitamento de Resíduos de Laminados de Fibra de Vidro na Confecção de Placas Reforçadas de Resina Poliéster**; Polímeros: Ciência e Tecnologia Ano 1998, universidade de Caxias do sul. 98.

ROBERTS, J. **Fiber Glass Boats: Construction, Repair and Maintenance**. 1 ed. Estados Unidos da America: W. W. Norton & Company, 1984

APLICAÇÃO DO MÉTODO DA PENALIZAÇÃO ROBUSTA PARA ANÁLISE DE PROBLEMAS DE OTIMIZAÇÃO MULTI-OBJETIVO

Gustavo Barbosa Libotte

Instituto Politécnico, Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Nova Friburgo – Rio de Janeiro

Fran Sérgio Lobato

Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia
Uberlândia – Minas Gerais

Francisco Duarte Moura Neto

Instituto Politécnico, Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Nova Friburgo – Rio de Janeiro

Gustavo Mendes Platt

Escola de Química e Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande
Rio Grande – Rio Grande do Sul

RESUMO: Tradicionalmente, no projeto de sistemas de engenharia não se considera o efeito de perturbações na solução ótima encontrada (solução nominal). Neste caso, existe a possibilidade de que a solução nominal se torne inviável de ser implementada, em virtude das incertezas associadas às variáveis de projeto. As incertezas podem estar relacionadas a diversos fatores, como variação do clima, limitações de equipamentos e questões financeiras. Nesse contexto, este trabalho tem por objetivo a obtenção de soluções ótimas que sejam menos sensíveis

às incertezas a fim de minimizar a influência de pequenas perturbações no vetor de variáveis de projeto. Para essa finalidade, considera-se uma abordagem que consiste na penalização robusta de problemas de otimização multi-objetivo. A partir dos resultados obtidos, foi possível avaliar a influência do parâmetro de incerteza na qualidade da solução calculada.

PALAVRAS-CHAVE: Otimização Robusta, Incertezas, Método da Penalização Robusta, Otimização Multi-objetivo.

APPLICATION OF ROBUST PENALIZATION TECHNIQUE FOR ANALYSIS OF MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION PROBLEMS

ABSTRACT: Traditionally, the engineering systems design does not consider the effect of perturbations on optimal solution (nominal solution). In this case, it is possible that the nominal solution becomes impractical to be implemented, due to uncertainties associated with the design variables. The uncertainties may be related to several factors, such as climate variation, equipment limitations and financial factors. This work aims to obtain optimal solutions that are less sensitive to uncertainties in order to minimize the influence of small perturbations on vector of design variables. For this purpose, the Robust Penalization Method to

solve multi-objective problems is considered. From the obtained results, it was possible to evaluate the influence of uncertainty parameter on the quality of obtained solution.

KEYWORDS: Robust optimization, Uncertainties, Robust Penalization Method, Multi-objective Optimization.

1 | INTRODUÇÃO

Durante muitas décadas, a solução de problemas mono ou multi-objetivo não levava em consideração a presença e a influência de incertezas no vetor de variáveis de projeto (soluções nominais) (Deb & Gupta, 2006; Egorov et al., 2007). Todavia, as incertezas estão presentes no dia a dia do projetista, visto que existem erros associados à etapa de modelagem matemática do problema, na definição do vetor de parâmetros de entrada, durante o processo de otimização e no vetor de variáveis de projeto. Assim, nos dias atuais existe uma grande preocupação no que tange o estudo da influência de incertezas na qualidade das soluções ótimas e, até mesmo, a alteração da viabilidade das soluções nominais obtidas (Li et al., 2005).

Em se tratando da análise das variáveis de projeto e dos parâmetros, as incertezas estão associadas a seus valores nominais devido à presença de variações na fabricação, geometria e propriedades do material que devem ser levadas em conta no planejamento e execução do projeto (Nejlaoui et al., 2013). Se uma solução local ótima é sensível a tais perturbações em sua vizinhança, a sua implementação prática pode resultar em um conjunto diferente de valores objetivo a partir da solução ótima nominal.

Para analisar a influência de incertezas no projeto de sistemas de engenharia, duas abordagens básicas podem ser empregadas, a saber, as metodologias para a análise de confiabilidade e as técnicas de robustez. A confiabilidade é uma ferramenta de análise que consiste em transformar restrições de desigualdade em restrições probabilísticas. Neste caso, avalia-se a possibilidade de um candidato a solução do problema de otimização violar uma ou mais restrições deste tipo (Lobato et al., 2017). Já a robustez pode ser entendida como o estudo da sensibilidade de um candidato a solução do problema de otimização, em relação a uma pequena perturbação, a fim de otimizar o desempenho de um projeto e, ao mesmo tempo, minimizar sua sensibilidade a variações de parâmetros (Taguchi et al., 2000; Saha & Ray, 2011; Lobato et al., 2017). Formalmente, Taguchi et al. (2000), que foi um dos pioneiros nesse assunto, define robustez como “o estado em que a tecnologia, o produto ou o desempenho do processo é minimamente sensível a fatores que causam variabilidade (na fabricação ou no ambiente do usuário) e ao envelhecimento, com o menor custo de fabricação por unidade”.

Dentre diversas metodologias existentes, capazes de avaliar a robustez de determinado problema, duas das mais difundidas e aplicadas na esfera dos problemas de otimização são as soluções robustas do tipo I e II, propostas por Deb & Gupta

(2006). Em linhas gerais, a estratégia de tipo I considera a média efetiva da função objetivo, em relação a um conjunto finito de soluções aleatórias, distribuídas ao redor do ponto que se deseja analisar a robustez. Por sua vez, a estratégia de tipo II avalia a diferença normalizada entre os valores da função perturbada e original, de tal forma que a solução desejada deve atender a um limiar preestabelecido. Considerando tais formulações, foi proposto por Mirjalili & Lewis (2016) uma nova metodologia de avaliação de robustez, baseada na penalização da função-objetivo. Na ocasião, a metodologia foi aplicada em diversos problemas de *benchmark* propostos pelos autores, tendo obtido resultados satisfatórios.

Contudo, a proposta de penalização de Mirjalili & Lewis (2016) foi aplicada apenas a problemas no contexto mono-objetivo. Portanto, a proposta fundamental desse trabalho é estender a metodologia de penalização, a fim de avaliar a robustez de problemas no contexto multi-objetivo. Adicionalmente, a metodologia será avaliada através da variação do nível de perturbação e da quantidade de amostras aleatórias ao redor da solução, de forma que o comportamento das curvas de Pareto seja investigado. Para obtenção das soluções ótimas, será utilizado o método NSGA-II (Deb et al., 2002).

2 | OTIMIZAÇÃO MULTI-OBJETIVO ROBUSTA

A otimização multi-objetivo consiste em encontrar um conjunto de pontos que formam a curva de Pareto, isto é, um conjunto de pontos que relacionam os objetivos, geralmente, conflitantes (Babu et al., 2005). Isso significa que a melhoria de um objetivo pode levar à deterioração de outro, e vice versa. Esse fato levanta a questão sobre como os diferentes objetivos devem ser combinados para produzir uma solução final. Há também a questão sobre como procurar uma solução ideal para o problema a ser resolvido (pós-processamento do conjunto de pontos obtido).

De acordo com Zhou et al. (2011), um problema de otimização multi-objetivo pode ser formulado como

$$\begin{array}{ll} \text{Minimizar} & F(x) = (f_1(x), \dots, f_m(x))^T \\ \text{Sujeito a} & x \in \Omega \end{array} \quad (1)$$

em que Ω é o espaço de busca e $x \in \Omega$ é o vetor de decisão. Além disso, $F(x)$ consiste em m funções-objetivo, de forma que $f_i: \Omega \rightarrow \mathbb{R}$, com $i = 1, \dots, m$ e, portanto, $F \in \mathbb{R}^m$.

Por conta do conflito existente entre os objetivos, não existe um único ponto capaz de otimizar todos os objetivos simultaneamente. Em vez disso, os melhores pontos que podem ser obtidos são denominados como solução ótima de Pareto (curva de Pareto). Como os pontos pertencentes a solução ótima de Pareto dominam coletivamente qualquer outro ponto viável no espaço de busca, todos estes pontos são

consideradas melhores do que qualquer outro (Deb & Gupta, 2006). Formalmente, o conceito de dominância é dado por (Zhou et al., 2011):

Definição 1 (Dominância). Diz-se que um vetor $\mathbf{u} = (u_1, \dots, u_n)^T$ domina outro vetor $\mathbf{v} = (v_1, \dots, v_n)^T$ denotado por $\mathbf{u} < \mathbf{v}$, se e somente se $\forall k \in \{1, \dots, n\}, u_k \leq v_k$ e $\mathbf{u} \neq \mathbf{v}$.

Em outras palavras, uma solução é dita dominante em relação a outra, se não for pior em nenhum dos objetivos e se for estritamente melhor em pelo menos um dos objetivos (Deb & Gupta, 2006). Uma vez conhecido o conceito de dominância, fica clara a definição para o conjunto ótimo de Pareto (Zhou et al., 2011):

Definição 2 (Conjunto Ótimo de Pareto). Uma solução viável $\mathbf{x}^* \in \Omega$ da Eq. (1) é chamada solução ótima de Pareto, se e somente se $\nexists \mathbf{y} \in \Omega$ tal que $F(\mathbf{y}) < F(\mathbf{x}^*)$. O conjunto de todas as soluções ótimas de Pareto é conhecido como conjunto de Pareto, denotado por $PS = \{\mathbf{x} \in \Omega \mid \nexists \mathbf{y} \in \Omega, F(\mathbf{y}) < F(\mathbf{x})\}$ e a imagem de PS é chamada de frente de Pareto e definida como $PF = \{F(\mathbf{x}) \mid \mathbf{x} \in PS\}$.

O aumento da complexidade dos sistemas, bem como o número de parâmetros manipuláveis, levam à necessidade de se utilizar modelagem matemática de sistemas e aplicação de técnicas de otimização para resolução de problemas como o da Eq. (1). A escolha dos parâmetros ideais para o problema que está sendo resolvido é feita através do uso de procedimentos formais de otimização matemática, principalmente através de técnicas evolucionárias. Contudo, soluções obtidas por meio de modelagem matemática e técnicas de otimização, na maioria dos casos, são difíceis de se implementar em problemas reais de engenharia. Isso se deve, em grande parte, ao fato de que, quando são resolvidos problemas de otimização pela abordagem tradicional (determinística), várias incertezas que influenciam a eficiência do sistema projetado em condições reais não são levadas em consideração (Egorov et al., 2007).

Beyer & Sendhoff (2007) listam as principais causas de diferenças entre os resultados estimados através de modelos matemáticos e aqueles previstos no produto final. Em geral, quatro pontos são considerados: desde que não se tenha conhecimento detalhado da função de erro do modelo, não se pode ter certeza de que o modelo ótimo pode ser mapeado para a verdadeira solução; mesmo que fosse possível realizar o mapeamento do modelo para o ótimo real, poderia não ser possível implementá-lo na prática, seja por incertezas de fabricação ou pelo custo embarcado; a formulação do problema de otimização da Eq. (1) é intrinsecamente estática, diferentemente do contexto real, que possui parâmetros variáveis (como a temperatura e umidade relativa do ar); os custos do ciclo de vida devem ser levados em consideração para muitos projetos de engenharia, algo complexo de ser modelado.

Problemas como os descritos pela Eq. (1) e otimizados no sentido clássico, podem ser muito sensíveis a pequenas mudanças no vetor de variáveis de projeto. Na prática de engenharia, a dispersão aleatória de parâmetros sobre os valores nominais é inevitável. Nesse sentido, faz-se necessário adotar um procedimento para encontrar as soluções ótimas considerando a influência de incertezas. Para essa finalidade, considera-se a otimização robusta como ferramenta para análise de incertezas.

De maneira ampla, Jin & Branke (2005) categorizaram as incertezas na computação evolutiva em quatro segmentos, que compreendem: as funções-objetivo podem ser essencialmente ruidosas, de tal forma que tais perturbações podem ser provenientes de muitas fontes distintas; as variáveis de projeto podem estar sujeitas a perturbações ou mudanças após a determinação da solução ótima; a função-objetivo pode ser aproximada, o que significa que existe a possibilidade de haver erros de aproximação e truncamento; o ótimo do problema a ser resolvido muda com o tempo e, assim, o otimizador deve ser capaz de rastrear o ótimo continuamente.

Portanto, sem perda de generalidade, um problema de otimização multi-objetivo robusto pode ser formulado, como apresentado por Mirjalili & Lewis (2016), através de

$$\begin{aligned}
 \text{Minimizar} \quad & F(\mathbf{x} + \boldsymbol{\delta}) = (f_1(\mathbf{x} + \boldsymbol{\delta}), \dots, f_m(\mathbf{x} + \boldsymbol{\delta}))^T \\
 \text{Sujeito a} \quad & g_j(\mathbf{x} + \boldsymbol{\delta}) \geq 0, \quad j = 1, \dots, p_1 \\
 & h_j(\mathbf{x} + \boldsymbol{\delta}) = 0, \quad j = 1, \dots, p_2 \\
 & \mathbf{L} \leq \mathbf{x} + \boldsymbol{\delta} \leq \mathbf{U}
 \end{aligned} \tag{2}$$

tal que \mathbf{x} é o vetor de decisão, $\boldsymbol{\delta}$ denota o vetor de incertezas (parâmetro de incerteza) associado a cada variável, p_1 e p_2 representam o número de restrições de desigualdade e igualdade, respectivamente, e os limites de cada uma das k -ésimas variáveis são descritos pelos vetores \mathbf{L} (inferior) e \mathbf{U} (superior).

3 | METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DE ROBUSTEZ

Como mencionado anteriormente, foi apresentado por Deb & Gupta (2006) duas metodologias capazes de avaliar a robustez de um dado problema de otimização. Ambas se baseiam na análise do comportamento da função na vizinhança da solução considerada, através da avaliação de amostras distribuídas aleatoriamente. Dessa forma, torna-se possível quantificar com que intensidade uma pequena perturbação das variáveis de decisão altera o valor da função-objetivo na solução em questão. Assim, é viável estimar a robustez de uma dada solução, uma vez que é definida como aquela que é insensível (até um limite arbitrário) às perturbações nas variáveis de decisão em sua vizinhança.

No contexto dos problemas de otimização multi-objetivo, a sensibilidade deve

ser estabelecida com respeito a todos os objetivos, isto é, um efeito combinado de variações em todos os objetivos deve ser usado simultaneamente como uma medida de sensibilidade às perturbações das variáveis. Uma das alternativas para avaliação de robustez é através da abordagem de média efetiva, como definido abaixo.

Definição 3 (Solução Multi-objetivo Robusta de Tipo I). Uma solução \mathbf{x}^* é chamada de solução multiobjetiva robusta de tipo I, se for um conjunto ótimo de Pareto para o problema de otimização multi-objetivo:

$$\begin{aligned} \text{Minimizar } & F^{\text{eff}}(\mathbf{x}) = \left(f_1^{\text{eff}}(\mathbf{x}), \dots, f_m^{\text{eff}}(\mathbf{x}) \right)^T \\ \text{Sujeito a } & \mathbf{x} \in \Omega \end{aligned}$$

definido com respeito à vizinhança δ , tal que $f_i^{\text{eff}}(\mathbf{x})$ é dada por

$$f_i^{\text{eff}}(\mathbf{x}) = \frac{1}{|B_\delta(\mathbf{x})|} \int_{\mathbf{y} \in B_\delta(\mathbf{x})} f_i(\mathbf{y}) d\mathbf{y}, \quad i = 1, \dots, m \quad (3)$$

com $B_\delta(\mathbf{x})$ denotando a vizinhança δ da solução \mathbf{x} e $|B_\delta(\mathbf{x})|$ o hipervolume da vizinhança.

Analisando a Eq. (3), fica claro que se trata da integração analítica da função-objetivo com o máximo possível de perturbação nas variáveis. Em virtude da complexidade na avaliação desta integral, além do custo computacional elevado, a Eq. (3) pode ser aproximada pelo valor médio atingido pela função-objetivo, calculado por

$$f_i^{\text{eff}}(\mathbf{x}) \approx \frac{1}{H} \sum_{j=1}^H f_i(\boldsymbol{\theta}^{(j)}), \quad i = 1, \dots, m$$

tal que H representa o número finito de soluções distribuídas aleatoriamente ao redor de \mathbf{x} , dentro do intervalo $[\mathbf{x} - \delta, \mathbf{x} + \delta]$. Nesse caso, cada amostra pode ser calculada através da relação $\boldsymbol{\theta}_k = \mathbf{x}_k + \mathbf{r}_k$, com \mathbf{r} sendo uma variável aleatória com distribuição uniforme no intervalo $r \sim [-1, 1]$. Obviamente, δ está definido para cada uma das variáveis do vetor de decisão, através da determinação de um vetor responsável pela delimitação da vizinhança, isto é, $\delta = (\delta_1, \dots, \delta_k)^T$ para $k = 1, \dots, n$.

Na segunda abordagem proposta por Deb & Gupta (2006), H soluções aleatórias dentro do hipervolume de raio δ são geradas em torno das soluções no espaço de parâmetros, onde δ indica o nível máximo possível de perturbação. Então, a variância calculada através dos valores obtidos pela avaliação das funções-objetivo correspondentes não deve exceder um determinado limiar, denotado por η .

Matematicamente, a formulação da solução do problema multi-objetivo robusta de tipo II é definida como abaixo.

Definição 4 (Solução Multi-objetivo Robusta de Tipo II). Uma solução \mathbf{x}^* é chamada de solução multi-objetivo robusta de tipo II se for um conjunto ótimo de soluções de Pareto para o problema de otimização multi-objetivo:

$$\begin{aligned} & \text{Minimizar } F(\mathbf{x}) = (f_1(\mathbf{x}), \dots, f_m(\mathbf{x}))^T \\ & \text{Sujeito a } \frac{\|\mathcal{F}(\mathbf{x}) - F(\mathbf{x})\|}{\|F(\mathbf{x})\|} \leq \eta \\ & \mathbf{x} \in \Omega \end{aligned}$$

Nesse caso, a função perturbada $F(\mathbf{x})$ pode ser tomada como a média efetiva, calculada através da Eq. (3), ou tomando-se o pior valor dentre as H amostras avaliadas na vizinhança δ da solução \mathbf{x} . Além disso, o parâmetro de controle da robustez $\eta \geq 0$ é inversamente proporcional ao nível de robustez desejado, uma vez que quanto menor for o valor definido para este limiar, a frente de Pareto correspondente estará cada vez mais afastada do conjunto ótimo original. Obviamente, o problema original é recuperado quando define-se $\eta = 0$.

Baseado nas metodologias de análise de robustez apresentadas por Deb & Gupta (2006), foi proposta por Mirjalili & Lewis (2016) uma nova abordagem baseada na penalização de soluções proporcionais à sua sensibilidade a perturbações nos parâmetros. Esta função de penalização calcula a flutuação da função-objetivo nas vizinhanças das soluções. Assim, pode-se estimar o nível de flutuação de uma solução arbitrária, tornando-se capaz de penalizar a solução, baseado no seu nível de robustez. Tomando como base a Eq. (2) e sem perda de generalidade, a otimização robusta baseada na penalização da função-objetivo, para problemas multi-objetivos, pode ser formulada como

$$\begin{aligned} & \text{Minimizar } F(\mathbf{x}) + P(\mathbf{x}) \\ & \text{Sujeito a } g_j(\mathbf{x} + \delta) \geq 0, j = 1, \dots, p_1 \\ & \quad h_j(\mathbf{x} + \delta) = 0, j = 1, \dots, p_2 \\ & \quad \mathbf{L} \leq \mathbf{x} + \delta \leq \mathbf{U} \end{aligned} \tag{4}$$

de tal forma que a função de penalização é dada por

$$P(\mathbf{x}) = \frac{\frac{1}{H} \sum_{j=1}^H |F(\boldsymbol{\theta}^{(j)}) - F(\mathbf{x})|}{|F(\mathbf{x})|} \tag{5}$$

em que $F(\boldsymbol{\theta}^{(j)})$ representa o valor da função-objetivo avaliada em cada um dos pontos amostrais gerados aleatoriamente na vizinhança de \mathbf{x} .

A próxima seção tem como objetivo empregar o denominado Método da Penalização Robusta em alguns problemas matemáticos. Para essa finalidade, considera-se o algoritmo NSGA-II (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm) (Deb et al. 2002) para resolução dos problemas de otimização multi-objetivo.

4 | PROBLEMAS-TESTE E RESULTADOS

Nessa seção, o objetivo principal é analisar a eficiência da metodologia para avaliação de robustez baseada na penalização da função-objetivo, através da sua aplicação na resolução de problemas de otimização multi-objetivo. Para conduzir essa tarefa, são apresentados dois problemas, introduzidos por Deb & Gupta (2006), e para cada um deles serão obtidas as curvas de Pareto correspondentes, variando os valores do vetor de incertezas δ e da quantidade de amostras aleatórias H , a fim de avaliar o comportamento das soluções obtidas, em relação à frente de Pareto do problema original.

Em todos os testes, o algoritmo NSGA-II foi executado ao longo de 10^4 gerações, a fim de evitar a obtenção de soluções indesejadas, ocasionadas por convergência prematura do algoritmo. Além disso, foi adotada uma população de 100 indivíduos, com chances de mutação e cruzamento definidas como $2/n$, sendo n o número de variáveis do problema. A operação de cruzamento foi efetuada a uma taxa de 1,2 e, no caso da mutação, foi utilizado um operador Gaussiano, com os parâmetros de escala e contração definidos como 0,8 e 0,5, respectivamente.

O primeiro problema-teste é definido como

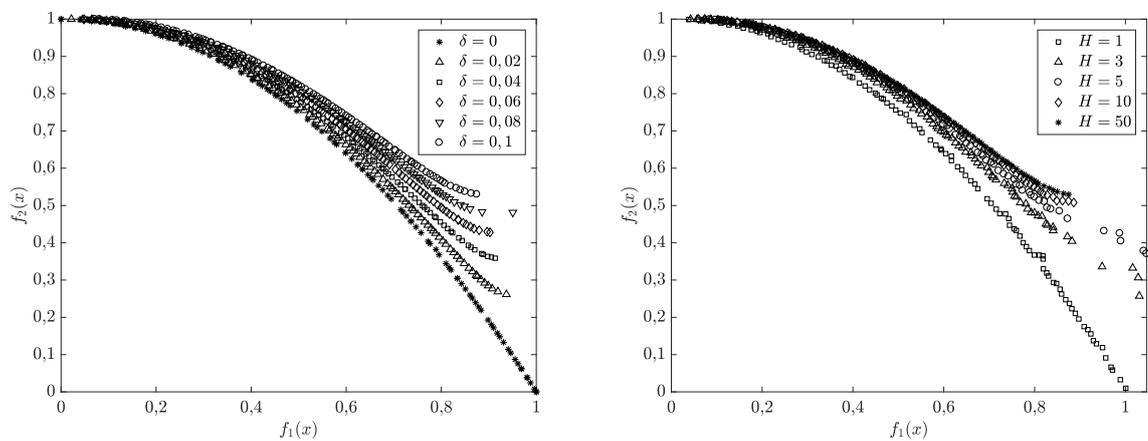
$$\begin{aligned}
 &\text{Minimizar } f_1(\mathbf{x}) = x_1 \\
 &\quad f_2(\mathbf{x}) = h(x_1) + g(\mathbf{x})S(x_1) \\
 &\text{Sujeito a } 0 \leq x_1 \leq 1, \quad -1 \leq x_k \leq 1, \quad k = 2, \dots, n \\
 &\text{Em que } h(x_1) = 1 - x_1^2 \\
 &\quad g(\mathbf{x}) = \sum_{k=2}^n 10 + x_k^2 - 10 \cos(4\pi x_k) \\
 &\quad S(x_1) = \frac{1}{0,2 + x_1} + x_1^2
 \end{aligned} \tag{6}$$

Analisando $g(\mathbf{x})$, observa-se que o termo $\cos(4\pi x_k) = 1$ sempre que $x_k = \omega/2$, com $\omega \in \mathbb{Z}$. Através da escolha específica de $\omega = 0$, tem-se que $g(\mathbf{x}) = 0$ para $k \geq 2$, fazendo com que a contribuição de $S(x_1)$ seja desprezada no segundo objetivo. Dessa forma, $f_2(\mathbf{x}) = 1 - x_1^2$ e, portanto, a solução determinística do problema de otimização representado pela Eq. (6) é dada pela relação $f_2(\mathbf{x}) = 1 - [f_1(\mathbf{x})]^2$, definida quando .

Na primeira fase de testes, a metodologia de avaliação da robustez, através da técnica de penalização, foi analisada por meio da obtenção dos resultados da Eq. (6) para diferentes valores de δ . Para tal, foram geradas 50 amostras aleatórias na vizinhança da solução corrente, a fim de se obter o valor da penalização através da Eq. (5). O conjunto de amostras foi gerado através da estratégia de hipercubo latino, de maneira que, a cada geração da metaheurística, a mesma sequência de amostras foi utilizada para avaliação de todos os indivíduos da população, de forma sistemática.

Especificamente para o problema que está sendo estudado, foi tomado e o vetor de incertezas foi escolhido com respeito ao intervalo de busca das variáveis de decisão, ou seja, foi definido que e para , de forma que a proporção entre a amplitude dos intervalos de busca das variáveis fosse mantida, preservando o tamanho da vizinhança. Com isso, as amostras aleatórias foram geradas no intervalo para , simetricamente em relação a cada uma das variáveis de decisão.

Na segunda fase de testes, ainda em relação ao problema da Eq. (6), foi analisado o comportamento das curvas de Pareto obtidas com relação a variação da quantidade de amostras aleatórias utilizadas no cálculo da Eq. (5). Para o cômputo desses resultados, foi fixado para para , e os demais parâmetros foram mantidos como no teste anterior. Os resultados obtidos para ambas as rotinas do primeiro problema-teste estão mostrados nas Figs. 1(a) e 1(b), respectivamente.



(a) Variação do parâmetro de robustez .

(b) Variação da quantidade de amostras .

Figura 1: Influência dos parâmetros de controle de robustez no primeiro estudo de caso.

Na Fig. 1(a) observa-se, como esperado, que o aumento no valor do parâmetro de robustez faz com que a solução robusta (δ_k diferente de zero) se distancie da solução nominal (δ_k igual a zero). Neste caso, observa-se, para o estudo em análise, que este distanciamento é mais pronunciado com relação ao aumento de $f_1(x)$ e a redução de $f_2(x)$. Com relação à influência do número de amostra utilizadas conclui-se, a partir da análise da Fig. 1(b), que existe um valor para o qual a solução robusta converge, evidenciando a importância deste parâmetro na curva de Pareto

obtida. Assim, o número de amostras deve ser escolhido de forma que o mesmo não influencie a solução ótima obtida.

No segundo problema-teste, deve-se minimizar três objetivos simultaneamente, de acordo com

$$\begin{aligned}
 \text{Minimizar } & f_1(\mathbf{x}) = x_1 \\
 & f_2(\mathbf{x}) = x_2 \\
 & f_3(\mathbf{x}) = h(x_1, x_2) + g(\mathbf{x})S(x_1, x_2) \\
 \text{Sujeito a } & 0 \leq x_1, x_2 \leq 1, -1 \leq x_k \leq 1, k = 3, \dots, n \\
 \text{Em que } & h(x_1, x_2) = 2 - x_1^2 - x_2^2 \\
 & g(\mathbf{x}) = \sum_{k=3}^n 10 + x_k^2 - 10 \cos(4\pi x_k) \\
 & S(x_1, x_2) = \frac{0,75}{0,2 + x_1} + 10x_1^8 + \frac{0,75}{0,2 + x_2} + 10x_2^8
 \end{aligned} \tag{7}$$

Analogamente ao caso anterior, a solução nominal trata-se da superfície obtida quando a variável $x_k = 0$, para $k \geq 3$, e qualquer combinação de valores das variáveis x_1 e x_2 , desde que estejam estabelecidas no intervalo $[0,1]$. Nesse caso, $g(\mathbf{x}) = 0$ e a curva de Pareto referente a solução nominal é dada pela relação $f_3(\mathbf{x}) = 2 - [f_1(\mathbf{x})]^2 - [f_2(\mathbf{x})]^2$. Para esse caso de teste, também foi escolhido $n = 5$ e as amostras foram geradas de maneira similar aos casos anteriores, respeitando a relação entre os intervalos de busca das variáveis de decisão, exceto pelo fato de que se adotou a mesma grandeza δ para os parâmetros δ_1 e δ_2 , além de $\delta_k = 2d$ para $k > 2$, haja vista a proporção dos intervalos das variáveis.

Por conta da representação das soluções do problema no espaço, adotou-se 200 indivíduos na população durante a execução do NSGA-II, a fim de favorecer a visualização dos resultados obtidos em relação à solução nominal no segundo problema-teste. No caso dos parâmetros inerentes à técnica evolucionária, foram tomados os mesmos valores do caso de teste anterior. Também foi escolhido $\delta_k = 0,1$ arbitrariamente, com o propósito de se averiguar o comportamento da frente de Pareto da solução robusta em relação à superfície da solução determinística, quando $\delta_k = 0$. Os resultados obtidos para o problema da Eq. (7) são mostrados na Fig. 2(a), assim como a superfície interpolada através dos valores computados pelo NSGA-II, com coeficiente de determinação da ordem de 99,97%, conforme a Fig. 2(b).

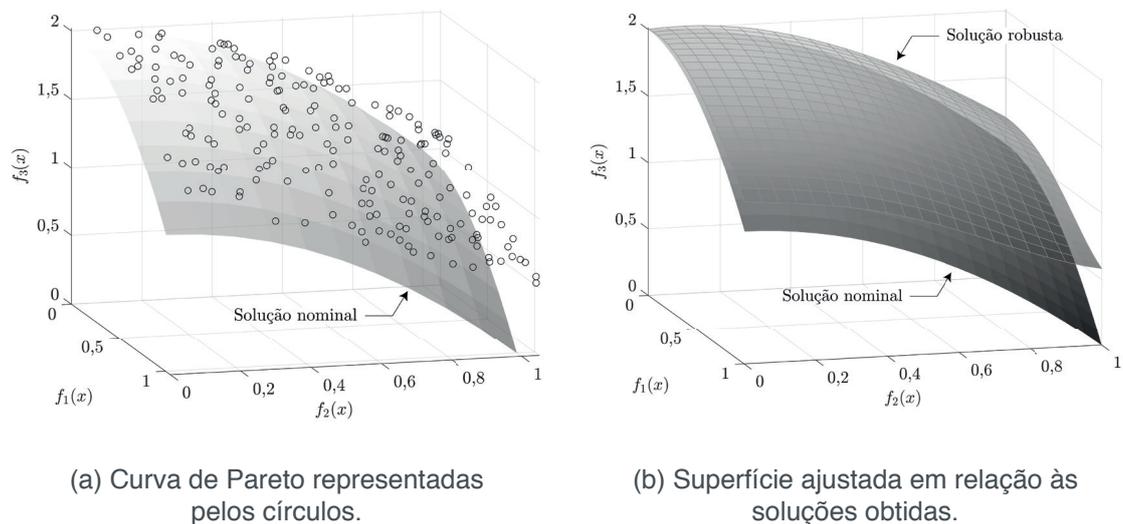


Figura 2: Curva de Pareto obtida para $\bar{\delta}_k = 0,1$ em relação à solução nominal da Eq. (7).

Assim como constatado no estudo de caso anterior, na Fig. 2 observa-se que a inserção da análise de robustez resulta na deterioração dos objetivos em relação à solução nominal. Este comportamento já era esperado, visto que, geralmente, o aumento do valor do parâmetro de robustez implicará em um maior distanciamento da solução robusta em relação à solução nominal.

5 | CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo estender o Método da Penalização Robusta, proposto inicialmente para o tratamento de problemas mono-objetivos, para o contexto multi-objetivo. A metodologia proposta foi empregada para a resolução de dois problemas puramente matemáticos, em que foi avaliada a influência do parâmetro de robustez e do número de amostras consideradas para a avaliação da solução robusta. De forma geral, pode-se concluir que o aumento do valor do parâmetro de robustez faz com que a solução robusta se distancie da solução nominal e que existe um valor ótimo para o número de amostras de forma que este não interfira na qualidade da solução robusta obtida. Em resumo, via análise das Figs. 2(a) e 2(b), conclui-se que a metodologia analisada para avaliação de robustez também foi capaz de obter resultados satisfatórios para problemas de maior dimensão.

É importante ressaltar que custo computacional requerido para a resolução do problema robusto é bem superior àquele necessário para a obtenção das soluções determinísticas. A diferença está no fato de que, na abordagem robusta, a cada geração e para cada candidato a solução, é necessária a avaliação do vetor de objetivos para cada uma das amostras geradas aleatoriamente. Assim, o número de avaliações requeridas pelas abordagens nominais e robustas são iguais a $NP + NP \times N_{ger}$ e $NP + NP \times H \times N_{ger}$, respectivamente, em que NP é o tamanho da população, H é o número de amostras e N_{ger} é o número de gerações.

REFERÊNCIAS

- Babu, B.V.; Chakole, P.G.; Syed Mubeen, J.H. (2005), **Multiobjective Differential Evolution (MODE) for Optimization of Adiabatic Styrene Reactor**. *Chemical Engineering Science*, 60(17), 4822-4837.
- Beyer, H.-G.; Sendhoff, B. (2007), **Robust Optimization-A Comprehensive Survey**. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 196(33-34), 3190-3218.
- Deb, K.; Pratap, A.; Agarwal, S.; Meyarivan, T. (2002), **A Fast and Elitist Multiobjective Genetic Algorithm: NSGA-II**. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 6(2), 182-197.
- Deb, K.; Gupta, H. (2006), **Introducing Robustness in Multi-Objective Optimization**. *Evolutionary Computation*, 14(4), 463-494.
- Egorov, I.N.; Kretinin, G.V.; Leshchenko, I.A.; Kuptzov, S.V. (2007), **Multi-objective Approach for Robust Design Optimization Problems**. *Inverse Problems in Science and Engineering*, 15(1), 47-59.
- Fang, J.; Gao, Y.; Sun, G.; Xu, C.; Li, Q. (2015), **Multiobjective Robust Design Optimization of Fatigue Life for a Truck Cab**. *Reliability Engineering and System Safety*, 135, 1-8.
- Jin, Y.; Branke, B. (2005), **Evolutionary Optimization in Uncertain Environments-A Survey**. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 9(3), 303-317.
- Li, M.; Azarm, S.; Aute, V. (2005), **"A Multi-objective Genetic Algorithm for Robust Design Optimization"**, In *7th Annual Conference on Genetic and Evolutionary Computation*, H.-G. Beyer e U.-M. O'Reilly (eds.), ACM, New York, NY, USA.
- Lobato, F. S.; Gonçalves, M. S.; Jahn, B.; Cavallini Jr, A. Ap.; Steffen Jr., V. **Reliability-Based Optimization Using Differential Evolution and Inverse Reliability Analysis for Engineering System Design**. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 1, 1-33, 2017.
- Mirjalili, S.; Lewis, A. (2016), **Obstacles and Difficulties for Robust Benchmark Problems: A Novel Penalty-based Robust Optimisation Method**. *Information Sciences*, 328, 485-509.
- Nejlaoui, M.; Houidi, A.; Affi, Z.; Romdhane, L. (2013), **Multiobjective Robust Design Optimization of Rail Vehicle Moving in Short Radius Curved Tracks Based on the Safety and Comfort Criteria**. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 30, 21-34.
- Saha, A.; Ray, T. (2011), **Practical Robust Design Optimization Using Evolutionary Algorithms**. *Journal of Mechanical Design*, 133(10), 101012.
- Taguchi, G.; Chowdhury, S.; Taguchi, S. (2000), **"Robust Engineering"**, McGraw-Hill, New York, USA.
- Zhou, A.; Qu, B.-Y.; Li, H.; Zhao, S.-Z.; Suganthan, P.N.; Zhang, Q. (2011), **Multiobjective Evolutionary Algorithms: A Survey of the State of the Art**. *Swarm and Evolutionary Computation*, 1(1), 32-49.

SÍNTESE DE FASE SÓLIDA HÍBRIDA MOLECULARMENTE IMPRESSA PARA EXTRAÇÃO DE CAFEÍNA EM AMOSTRAS ÁGUA SUPERFICIAL

Fabiana Casarin

Universidade de Brasília, Instituto de Química,
Brasília, DF.

Camila Santos Dourado

Universidade de Brasília, Instituto de Química,
Brasília, DF.

Ana Cristi Basile Dias

Universidade de Brasília, Instituto de Química,
Brasília, DF.

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um polímero híbrido molecularmente impresso (HMIP) para adsorção seletiva de cafeína (CAF) em águas superficiais. Para tanto, foi sintetizado um HMIP e controle (HNIP) através do processo sol-gel em superfície de sílica ativada. Os materiais foram caracterizados por: infravermelho (IR), microscopia eletrônica de varredura (MEV) e área superficial específica (BET). Com relação às propriedades adsorptivas do material, os ensaios termodinâmicos indicaram que a adsorção da cafeína no HMIP apresentou-se como um processo espontâneo, exotérmico com predominância em ligações de hidrogênio. Parâmetros cinéticos e de equilíbrio adsorptivo dos materiais foram estudados por meio do ajuste de isothermas de adsorção. Os resultados indicaram tempo de equilíbrio em torno de 1 h para o HMIP. O melhor ajuste aos dados cinéticos

foi obtido através do modelo de pseudo-segunda ordem e com relação as isothermas de adsorção que melhor descreveu o equilíbrio adsorptivo para a cafeína foi o não linear de Langmuir-Freundlich para dois sítios de adsorção. As capacidades máximas de adsorção (Q_m) para o HMIP e HNIP foram respectivamente $710 \mu\text{g g}^{-1}$ e $180 \mu\text{g g}^{-1}$ resultando em um fator de impressão (FI) de 4,2. O HMIP apresentou alta seletividade a CAF na presença de análogos estruturais (teobromina e a teofilina) e boa taxa de recuperação da CAF (78%) em aplicação de amostras de águas superficiais demonstra a potencialidade de aplicação deste material em análises ambientais.

PALAVRAS-CHAVE: cafeína, polímero híbrido molecularmente impresso, água superficial.

SYNTHESIS OF SOLID PHASE HYBRID MOLECULARLY PRINTED FOR CAFFEINE EXTRACTION IN SAMPLES SURFACE WATER

ABSTRACT: This work aimed at the development of a molecularly printed hybrid polymer (HMIP) for selective adsorption of caffeine (CAF) in surface water. For this, an HMIP and its respective non-printed polymer (HNIP) were synthesized through the sol-gel process on an activated silica surface. The

materials were characterized by, infrared (IR), scanning electron microscopy (MEV) and specific surface area (BET). Regarding the adsorptive properties of the material, the thermodynamic tests presented the adsorption of caffeine in the HMIP as a spontaneous, exothermic process with predominance in hydrogen bonds. Kinetic parameters and adsorptive equilibrium of the materials were studied by adjusting adsorption isotherms. The results indicated an equilibrium time about 1 h for HMIP. The best fit to the kinetic data was obtained through the pseudo-second order model and with respect to the adsorption isotherms that best described the adsorptive equilibrium for CAF was the nonlinear Langmuir-Freundlich for two adsorption sites. The maximum adsorption (Q_m) capacities for HMIP and HNIP were $710 \mu\text{g g}^{-1}$ and $180 \mu\text{g g}^{-1}$ respectively, resulting in a print factor (FI) of 4.2. HMIP showed high CAF selectivity in the presence of structural analogs (theobromine and theophylline) and a good recovery rate of CAF (78%) in the application of natural surface water samples, which demonstrates the potential of applying this material in environmental analyzes.

KEYWORDS: caffeine, molecularly printed hybrid polymer, surface water.

1 | INTRODUÇÃO

O desenvolvimento tecnológico, científico e industrial proporcionou o aparecimento de diversos compostos que proporcionam melhorias na qualidade de vida da população. Entretanto, a maioria deles apresentam alto potencial de contaminação ambiental, quando não gerenciados adequadamente. Esses se inserem ao meio ambiente, principalmente em matrizes de águas, em função do esgoto doméstico, por ser tratado de forma inadequada ou de forma bruta (JARDIM et al., 2012).

Atualmente, tais contaminantes vêm despertando o interesse da comunidade científica devido à ausência de monitoramento e legislação regulatória correspondente (MACHADO et al., 2016) seven source water samples from two of the most populous regions of the country were evaluated. Samples were collected from June to September of 2011 and again during the same period in 2012. The study covered emerging contaminants of different classes, including hormones, plasticizers, herbicides, triclosan and caffeine. The analytical method for the determination of the compounds was based on solid-phase extraction followed by analysis via liquid chromatography electrospray triple-quadrupole mass spectrometry (LC-MS/MS). Essas espécies de compostos foram denominadas como contaminantes emergentes (CE) e também podem ser definidos como substâncias ou microrganismos cuja ocorrência ou relevância ao ambiente foi constatada recentemente. No entanto, seus efeitos ainda permanecem incertos (JARDIM et al., 2012).

Devido aos riscos notórios da contaminação das águas superficiais, pesquisas recentes demonstraram a necessidade do monitoramento dos CE. Uma opção promissora para o monitoramento é a determinação de indicadores, substâncias

químicas traçadoras da atividade antrópica, que indica a possível presença de outros CE the presence of a group of contaminants, termed as emerging contaminants (ECs. Com relação a esses compostos a CAF é um dos indicadores de contaminação antrópica mais estudados, atualmente, por ser, constantemente, lançada no meio ambiente devido ao alto consumo de produtos, como: alimentos, bebidas e medicamentos (MACHADO et al., 2016)seven source water samples from two of the most populous regions of the country were evaluated. Samples were collected from June to September of 2011 and again during the same period in 2012. The study covered emerging contaminants of different classes, including hormones, plasticizers, herbicides, triclosan and caffeine. The analytical method for the determination of the compounds was based on solid-phase extraction followed by analysis via liquid chromatography electrospray triple-quadrupole mass spectrometry (LC-MS/MS).

A determinação de CAF é comumente conduzida por separações cromatográficas acopladas a detectores espectrofotométricos (UV-Vis) ou espectrométricos (MS/MS) e também por técnicas eletroquímicas (MARIA, CARLOS A B DE, MOREIRA, 2007). Porém, a maioria dos métodos demonstram a necessidade de um preparo da amostra para a disponibilidade do analito, previamente, utilizado na separação e/ou na detecção. A extração em fase sólida (do inglês *solid phase extraction*, SPE) é muito utilizada no preparo de amostras, consistindo na percolação da amostra, por meio de uma fase sólida adsorvente, que pode separar o analito (isolamento), e/ou pré-concentrá-lo, além de remover interferentes (*clean up*). Com relação às aplicações, em águas superficiais, a importância dessa etapa é ainda maior, devido à grande complexidade dessas matrizes aliadas às baixas concentrações comumente encontradas de CAF (BALDIM et al., 2012).

Os principais avanços nas pesquisas em SPE têm sido na síntese de sorventes mais específicos e seletivos para extração, como os polímeros molecularmente impressos (MIP, do inglês, *Molecularly Imprinted Polymers*). O MIP tem sido amplamente aplicado e com sucesso como fase sólida em procedimento de SPE, para a determinação de diferentes analitos, em baixas concentrações, nas matrizes complexas (BALDIM et al., 2012). A alta seletividade do MIP está no fato de que são sintetizados exclusivamente para a molécula de interesse, denominada de molécula molde (MM) que interage com monômeros funcionais (MF), num solvente porogênico, formando um complexo estável. Após o equilíbrio formado, a ligação entre os MF é realizada, por meio da adição de um reagente de ligação cruzada (ALC) que conecta todos os monômeros, resultando numa matriz polimérica (ABD RAHIM et al., 2016).

Com relação à síntese de MIP, o processo sol-gel vem despertando interesse devido à sua simplicidade de execução e condições reacionais brandas (BALDIM et al., 2012). Outro aspecto importante é que o processo sol-gel permite a combinação de monômeros orgânicos e inorgânicos de modo a obter materiais com propriedades híbridas. Assim, os polímeros que são obtidos pelo processo sol-gel híbrido (HMIP) têm propriedades físico-químicas e mecânicas aprimoradas que permitem um maior

controle na porosidade, cristalinidade, estabilidade térmica e resistência à ação química (ABD RAHIM et al., 2016). Tal processo pode ainda ser combinado com a técnica da impressão em superfície que consiste na síntese do material num suporte rígido. Essa técnica apresenta algumas vantagens, como, a homogeneidade das partículas, a facilidade de remoção e de acessibilidade da MM, aos sítios de ligação, o aumento da velocidade da adsorção e da dessorção do analito no HMIP (HU et al., 2016).

Face ao exposto, o presente trabalho tem como objetivo sintetizar e caracterizar um HMIP pelo processo sol-gel híbrido em superfície, para utilizá-lo como adsorvente de CAF em amostras de águas superficiais.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Reagentes e INSTRUMENTAÇÃO ANALÍTICAS

Aminopropiltrimetoxissilano (APTMS), Tetraetoxissilano (TEOS), sílica gel de formato irregular (Cromatografia de camada fina $\cong 50 \mu\text{m}$), CAF, teofilina (TEF) e a teobromina (TEB). Todos esses reagentes foram adquiridos da Sigma-Aldrich grau P.A, metanol grau HPLC (MeOH) Tedia. O ácido clorídrico (HCl) e o hidróxido de amônia (NH_4OH) foram adquiridos da Biograde. A água utilizada neste estudo foi deionizada ($\geq 18 \text{ M}\Omega \text{ cm}^{-1}$) e produzida por meio da utilização de um sistema de purificação Milli-Q.

Para a separação e determinação da CAF foi utilizado um cromatógrafo líquido de alta pressão (HPLC) e detecção UV em 272 nm. As separações foram realizadas numa coluna de fase reversa C-18 (dimensões: 250 x 4,6 mm, diâmetro de partícula de 5 μm , Browniee Analytical Perkin Elmer). O método desenvolvido foi baseado nos estudos realizados por MACHADO et al., 2016 com adaptações, através do emprego, na fase móvel metanol: água (40:60), com vazão de 0,8 mL min^{-1} e injeção de 100 μL de padrão/amostras. A separação dos compostos foi conduzida por meio de gradiente binário e de acordo com a seguinte programação: de 0 a 1 min 10% de MeOH e 90% de água, aumentando gradativamente de 1 a 2 min, resultando em 40% de MeOH e 60% de água ao final dos dois minutos. De 2 a 8 min, o gradiente foi mantido em 40% de metanol e 60% de água, diminuindo para 10% em 8 min. As condições iniciais foram restabelecidas em 2 min, resultando em 12 min de análise cromatográfica.

Os espectros de IR foram obtidos com um espectrômetro de IR com transformação de Fourier, modelo 640 -IR (Agilent, EUA), operando no modo de transmissão entre 4000 e 400 cm^{-1} . A morfologia dos polímeros foi avaliada por microscopia eletrônica de varredura, utilizando o Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), (Modelo FEI Quanta 200-3D Dinamarca). A porosidade e a área superficial específica dos polímeros foram avaliadas através de ensaios de porosimetria de

sorção de N₂ por meio da exposição do polímero a 100°C, por 3 h a vácuo. O ensaio foi conduzido a um equipamento *Surface Area e Pore Size Analyser* 100 °C.

2.2 Síntese do MIP híbrido SOL-GEL em superfície

Para proceder a ativação da sílica, foi utilizado 10 g de gel de sílica, submetido a refluxo com 120 mL de ácido clorídrico 6mol L⁻¹ por 8h. Posteriormente, o material foi filtrado, lavado com água deionizada até obter pH neutro da água remanescente e por último foi seco em estufa (120°C, 12 h).

A síntese do HMIP foi conduzida através de uma mistura de 4 mmol de CAF (MM), 10 mL de água destilada e 2 mmol APTMS (MF), num béquer até a completa solubilização. Em seguida, foi adicionado 200 µL de catalisador (NH₄OH), 40 mmol de TEOS (ALC) e 200 mg de sílica ativada. A mistura foi aquecida, sob agitação, a 40°C até a gelificação, a fim de formar um monolito branco opaco.

Os polímeros obtidos foram deixados em temperatura ambiente (25°C) por 72 h para o envelhecimento. Posteriormente, foram secos em estufa a 120°C, por 2 h, na sequência, foram macerados e peneirados na faixa de 56-125 µm de diâmetro de partícula. Os materiais foram submetidos a um processo de remoção da MM, através da extração com metanol via ultrassom, na proporção 40 mL de solvente por grama de HMIP. Em seguida, a solução foi filtrada e a CAF, no sobrenadante, foi determinada por UV-vis. O processo foi repetido até a ausência de bandas de absorção da CAF em 272 nm. Por fim, os MIP foram secos em estufa a 120 °C. Paralelamente, foi preparado o polímero controle, por meio do mesmo procedimento, sem a adição da MM, denominado de polímero não impresso molecularmente (HNIP).

2.3 Estudos de adsorção

Para avaliar a cinética de adsorção da CAF no HMIP, 40 mg de HMIP foram pesados em tubos Falcon e adicionados 10 mL de solução de CAF 2 mg L⁻¹ (n=3). Os tubos foram colocados num agitador mecânico e as soluções foram analisadas em períodos pré-determinados (10, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180 e 240 min). Para isso, o tubo foi centrifugado por 20 min a 4000 rpm e os sobrenadantes filtrados. A quantidade de CAF adsorvida (mg g⁻¹) foi estimada de acordo com a equação $Q = \frac{(C_0 - C_s) \times V}{m}$ que prediz a capacidade de adsorção (Q) do polímero em função da quantidade de CAF adsorvida. Em que Q (mg g⁻¹), refere-se à capacidade de adsorção no equilíbrio, C₀ (mg L⁻¹) à concentração inicial da solução de adsorvato, C_s (mg L⁻¹) à concentração de adsorvato livre no equilíbrio, V (L) ao volume da solução do analito, m (g) à massa do adsorvente aplicado (HMIP ou HNIP). Para avaliar a capacidade de reconhecimento molecular dos HMIP e HNIP foram realizados estudos de adsorção com soluções de CAF em concentrações de 1 a 20 mg L⁻¹. Para isso, foram utilizadas as mesmas condições do procedimento mencionado acima. Os frascos foram fechados e homogeneizados por 2 h e as capacidades adsorptivas (Q) foram calculadas pela equação citada acima.

Para o estudo termodinâmico, utilizou-se das condições citadas na adsorção cinética através do uso de uma solução de CAF 50 mg L⁻¹. O procedimento foi realizado a 283,15, 293,15, 303,15, 313,15 e 323,15 K para todos os HMIP e HNIP.

2.4 Estudo da seletividade

Para avaliar a formação das cavidades seletivas do HMIP, em relação ao analito alvo, foram realizados estudos de adsorção com 10 mL de solução ternária, contendo 10 mg L⁻¹ de CAF, TEF, TEB. Os experimentos foram executados de acordo com os citados no item 2.4, enquanto à detecção pelo método HPLC-UV. Com base nesses experimentos, foram determinados os parâmetros relacionados ao desempenho da seletividade do adsorvente, como: coeficiente de distribuição (K_d), coeficiente de seletividade (k) e coeficiente de seletividade relativo (k'). O coeficiente de distribuição do analito e interferente foram calculados a partir da equação $K_d = \left(\frac{C_i - C_f}{C_f}\right) \cdot \frac{V}{m}$ (CASARIN et al., 2018). As variáveis C_i , C_f , V e m representam, respectivamente, as concentrações iniciais, as finais, os volumes das soluções em mililitros e a massa do polímero em gramas. Para fazer a comparação dos valores de k , entre o polímero impresso e o de controle, ou seja, o coeficiente de seletividade relativo (k') foi empregada a equação $k' = \frac{k_{MIP}}{k_{NIP}}$. A referida equação permite uma estimativa do efeito da impressão na seletividade (CASARIN et al., 2018).

2.5 Aplicação em amostras de águas superficiais

As amostras de águas superficiais foram coletadas em dois pontos do Lago Paranoá, Brasília - DF, Brasil, com o auxílio de um frasco de polietileno, previamente ambientado com a amostra. As amostras foram filtradas em filtros de membrana de 0,45 μ m e estocadas a 4° C até a realização da extração da CAF, sendo efetivada, no máximo, em 24 h. O estudo sobre as amostras de águas superficiais foi realizado conforme o procedimento de adsorção o item 2.3, em que as amostras foram enriquecidas com CAF 250 μ g L⁻¹.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com relação à síntese abordada, o polímero formado consistiu na formação de uma camada de HMIP na superfície de uma partícula de sílica ativada (YU et al., 2015)2-bis(4-hydroxyphenyl). A sílica em gel é um polímero inorgânico amorfo com grupos siloxano (Si-O-Si) e silanol (Si-OH) em sua superfície. Através da modificação química, pelo tratamento ácido, são disponibilizados os grupos silanol responsáveis pela ligação com o MF e o ALC, na síntese do HMIP, propiciando a impressão na superfície, conforme o esquema demonstrado na Figura 1. As quantidades de APTMS e TEOS determinam a espessura da camada impressa, já a espessura da camada sol-gel, impressa na superfície da sílica, aumenta com quantidades crescentes de

APTES e TEOS, formando uma camada de HMIP de tamanho maior, conforme esperado pelo esquema da Figura 1.

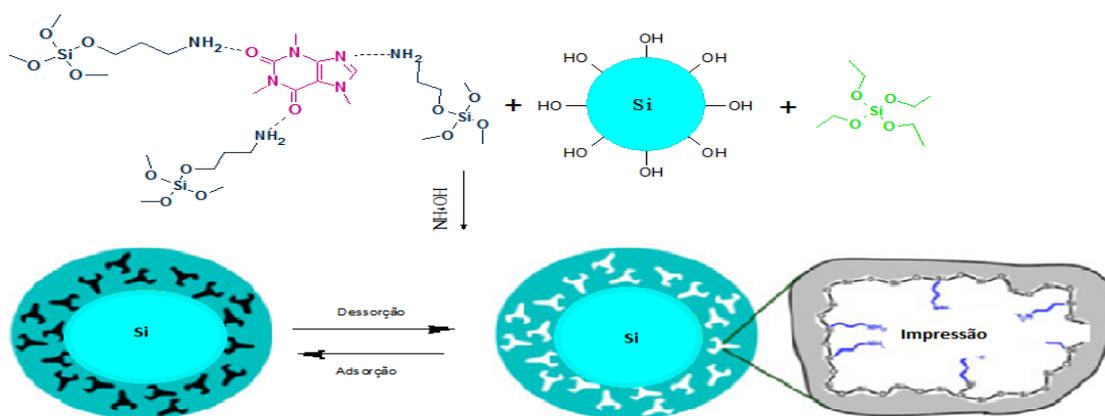


Figura 1: Esquema de síntese da CAF-HMIP pelo processo sol-gel e a técnica de impressão de superfície. Adaptado de ZHI et al., 2018.

3.1 Caracterização química e estrutural dos polímeros

A Figura 2, apresenta os espectros de IR dos polímeros HMIP e HNIP, em que se pode observar a similaridade entre eles. A banda de absorção em 3420 cm^{-1} pode estar relacionada à presença do agrupamento hidroxila, referente à água remanescente adsorvida e/ou à vibração de deformação axial da hidroxila do grupo Si-OH, que também foi observada por Silva e Augusto 2006 (COSTA SILVA, DA; AUGUSTO, 2006).

A banda em 2930 cm^{-1} pode indicar ligações C-H. Já a banda em 1639 cm^{-1} pode ser atribuída às vibrações angulares das moléculas de água, além da banda 1380 cm^{-1} que se refere ao estiramento da amina primária presente no APTMS e nos TEOS. A banda de 761 cm^{-1} pode ser atribuída a grupos silanóis livres (Si-OH), visto que observações semelhantes foram relatadas por colaboradores, em 2015 (YANG et al., 2015) e em um MIP sol-gel aplicado ao bisfenol. A banda em 470 cm^{-1} indica a presença do agrupamento Si-O-Si e apresenta referente a sua deformação.

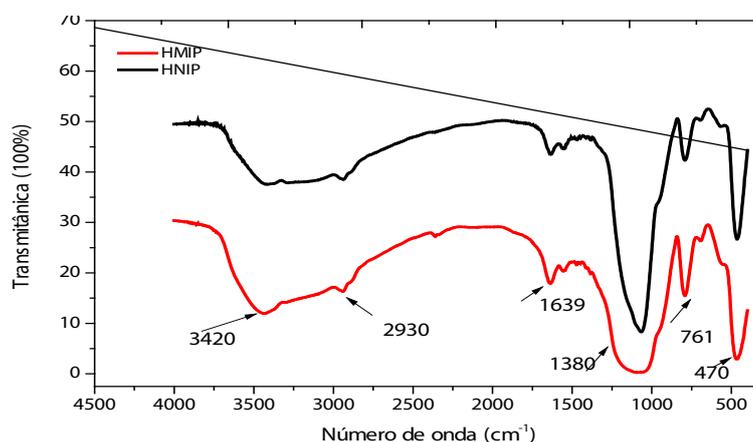


Figura 2: Espectros de absorção no infravermelho para os polímeros sol-gel híbridos.

Os espectros obtidos de FT-IR são consistentes com aqueles de materiais modificados por grupos aminopropila (SAMANIDOU et al., 2016). A presença da CAF durante as etapas de hidrólise e da condensação não alteraram a composição química dos polímeros. No entanto, as bandas relativas a CAF não foram observadas no espectro referente aos HMIP e indicam que o processo de remoção da MM foi eficiente.

A porosidade da partícula é definida como a razão entre o volume de poros abertos e o volume total de poros da partícula. Os dados médios de adsorção de N₂, estimados pelo método BET, estão apresentados na Tabela I, na qual se observa que o HMIP apresenta maior área específica em comparação ao HNIP correspondente, indicando maior capacidade de sorção. Os dados indicaram que o HMIP é predominantemente mesoporoso, tornando-o adequado para a aplicação em SPE, visto a melhor permeabilidade ao solvente e a difusão do analito alvo. Além disso, a diferença de tamanho do poro entre o HMIP e o HNIP pode estar associada à presença da CAF durante o processo de síntese.

	Área específica BET (m ² g ⁻¹)	Tamanho Médio Poros (Å)	Volume Poros (cm ³ g ⁻¹)
HMIP	72.745	55.279	0,221
HNIP	28.379	38,381	0,077

Tabela I: Porosimetria dos HMIP/HNIP.

A Figura 3 apresenta as micrografias dos HMIP e HNIP com aumento de 500 e 10.000 vezes. Pode ser observado nas imagens, com aumento de 500 vezes, que as partículas apresentaram formas e tamanhos irregulares devido ao processo de maceração após a síntese. Quando aplicado um aumento de 10.000 vezes, verifica-se que o HMIP apresenta porosidade perceptível, enquanto o HNIP obteve uma superfície menos reticulada e mais compacta, com pequenos aglomerados de micropartículas. Esses dados corroboram com os resultados observados nos estudos de porosimetria.

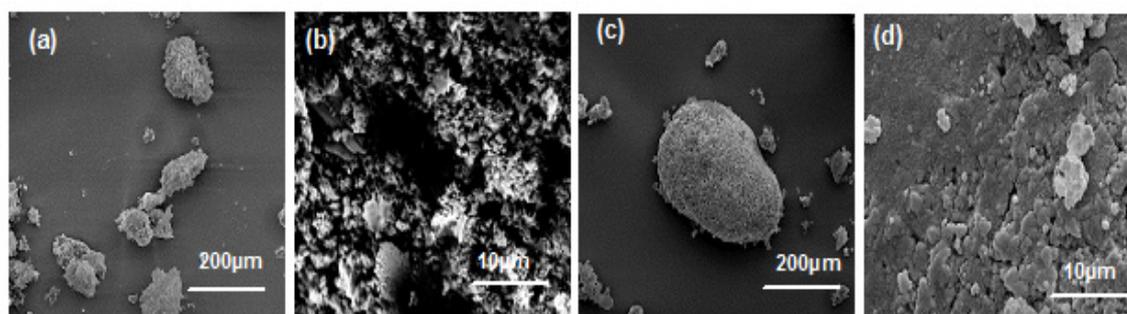


Figura 3: Micrografias eletrônicas de varredura dos polímeros HMIP (a e b), HNIP. As imagens

foram ampliadas em 500 e 10.000 vezes.

3.2 Estudo de adsorção

O tempo de contato para a capacidade máxima de adsorção de CAF, entre a fase sólida e a fase líquida, foi de 60 min para o HMIP, como pode ser observado na Figura 4. Esses resultados podem ser atribuídos ao processo de impressão, em superfície, que tem como característica o aumento da velocidade de adsorção. Estudos realizados por Hu e colaboradores, (HU et al., 2016) demonstraram que os polímeros híbridos sol-gel, sintetizados em superfície, apresentaram uma cinética de religação mais rápida com relação aos que não foram sintetizados em superfície (HU et al., 2016).

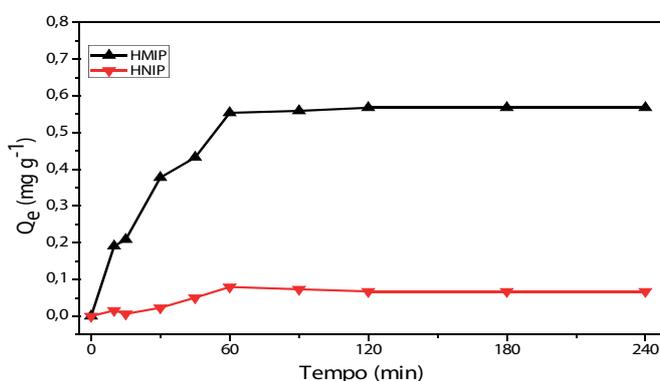
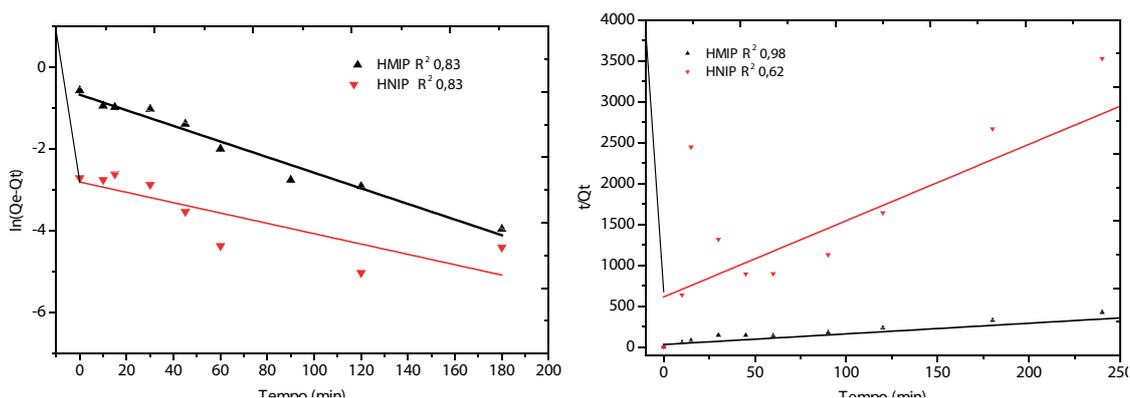


Figura 4. Efeito do tempo na adsorção de CAF pelo HMIP e HNIP.

Com o objetivo de elucidar a cinética de adsorção os dados foram ajustados a modelos cinéticos, conforme modelo de pseudo-primeira ordem (equação, $\ln(Q_e - Q_t) = \ln Q_e - K_1 t$) e de pseudo-segunda ordem (equação, $\frac{t}{Q_t} = \frac{1}{K_2 Q_e^2} + \frac{1}{Q_e} t$). Para avaliar o comportamento de adsorção da CAF pelo adsorvente.

As equações acima Q_e e Q_t (mg g⁻¹) são as quantidades adsorvidas de CAF, no equilíbrio e no tempo t (min), respectivamente. E K_1 (L min⁻¹) e K_2 (g mg⁻¹ min⁻¹) são as constantes de velocidade de pseudoprimeira e pseudo-segunda ordem respectivamente. Os modelos cinéticos de adsorção para a CAF e os valores dos coeficientes de determinação (R) podem ser observados pela Figura 5.



(a)

(b)

Figura 5. Gráficos dos modelos pseudoprimeira ordem (a) e pseudo-segunda ordem.

Com o ajuste observou-se que a adsorção de CAF obedece ao modelo de pseudo-segunda ordem e pode ser explicado pela natureza do polímero, contendo múltiplos sítios de adsorção regidos por ligações de hidrogênio de diferentes forças. Os valores de Q_e (mg L^{-1}) estimados para todos os polímeros se aproximaram dos valores obtidos experimentalmente. Assim, sugere-se que o processo de adsorção da CAF, dos HMIP, ocorre em sítios com diferentes energias de ligação (CASARIN et al., 2018).

Com o objetivo de compreender o comportamento de adsorção da CAF no HMIP/HNIP, sob diferentes concentrações em condições de equilíbrio, aplicou-se os ajustes de isotermas não lineares de Langmuir, os não lineares de Freundlich, além do Langmuir-Freundlich um sítio e o do Langmuir-Freundlich dois sítios.

As isotermas de adsorção para ambos os polímeros são representadas na Figura 6 e os dados dos modelos são mostrados na Tabela II. Conforme pôde ser observado, os melhores ajustes para os dados do HMIP foram obtidos pelo modelo não-linear de Langmuir-Freundlich, para dois sítios de adsorção, visto a similaridade com os dados de adsorção experimental. O modelo não-linear de Langmuir-Freundlich para dois sítios, consiste numa combinação empírica das equações de Langmuir e Freundlich, adotando o comportamento de Freundlich, em baixas concentrações de adsorbato, já o comportamento de Langmuir em altas concentrações, prediz a saturação em monocamadas (CASARIN et al., 2018). A capacidade máxima teórica de adsorção do polímero impresso para a CAF foi Q de $710 \mu \text{g}^{-1}$ valor muito próximo ao obtido experimentalmente. Esses resultados corroboram com o bom ajuste do modelo de pseudo-segunda ordem, indicando que os materiais solventes podem ter, de fato, sítios de adsorção com diferentes afinidades.

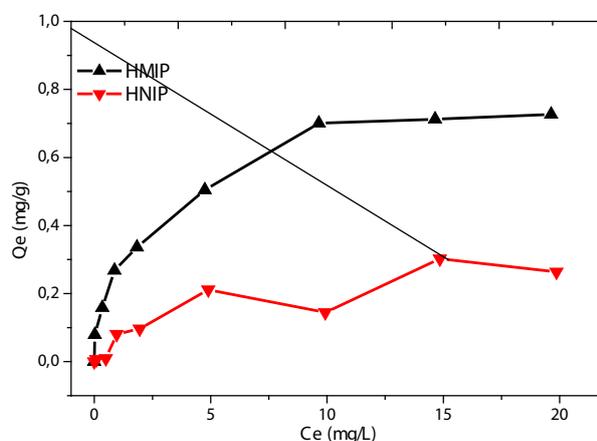


Figura 6: Efeitos da concentração de CAF no equilíbrio químico de adsorção do HMIP/HNIP.

Polímero	Langmuir (não linear)			Freundlich (não linear)							
	$Q_e = \frac{K_L b C_e}{1 + K_L C_e}$			$Q_e = K_F C_e^{1/n}$							
	K_L	b	R ²	K_F	n	R ²					
HMIP	0,46	0,81	0,97	0,28	2,96	0,97					
HNIP	0,24	0,32	0,86	0,07	2,13	0,85					
Polímero	Langmuir-Freundlich para um sítio de adsorção				Langmuir-Freundlich para dois sítios de adsorção						
	$Q_e = \frac{b_1(K_1 C_e)^{n_1}}{1 + (K_1 C_e)^{n_1}}$				$Q_e = \frac{b_1(K_1 C_e)^{n_1}}{1 + (K_1 C_e)^{n_1}} + \frac{b_2(K_2 C_e)^{n_2}}{1 + (K_2 C_e)^{n_2}}$						
	K_1	b_1	n_1	R ²	K_1	b_1	n_1	K_2	b_2	n_2	R ²
HMIP	0,14	1,15	0,6	0,98	0,20	0,23	26,6	0,57	0,54	0,54	0,99
HNIP	0,20	0,34	0,92	0,80	0,20	0,17	0,92	0,21	0,17	0,92	0,52

Tabela II: Parâmetros das isotermas de adsorção para os HMIP/HNIP.

Nota: , Q_e é a quantidade de adsorvido por grama de adsorvente; C_{eq} é a concentração de equilíbrio da solução (mg g^{-1}); K_L é a constante de sorção de Langmuir (L mg^{-1}); K_F é a constante de Freundlich relacionada à capacidade de adsorção (mg g^{-1}) (L g^{-1}); n é a constante relacionada à intensidade de sorção ou grau de sorção; n_1 e n_2 são os fatores de heterogeneidade; b é a constante relacionada à capacidade máxima de sorção (mg g^{-1}) e K , da equação de Langmuir-Freundlich, representa as afinidades adsorbato-adsorventes.

Os parâmetros termodinâmicos (ΔG), entalpia (ΔH) e entropia (ΔS) fornecem informações sobre mudanças energéticas em consequência da adsorção. Esses dados foram calculados usando as equações $\ln K_d = \left(\frac{\Delta H^0}{R}\right)\frac{1}{T} + \left(\frac{\Delta S^0}{R}\right)$ e $\Delta G^0 = \Delta H^0 - T\Delta S^0$ e Em que R é a constante universal dos gases, cujo valor é $8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ e a temperatura (K). De acordo com a Tabela III, podemos observar que os valores para a ΔG foram negativos nas diferentes temperaturas, indicando a natureza espontânea e favorável da adsorção da CAF pelo HMIP nas condições avaliadas. Tais valores tornaram-se mais negativos com a diminuição da temperatura, demonstrando que o decréscimo de temperatura favoreceu a adsorção da CAF nos materiais. Os valores negativos para ΔS indicam uma diminuição da desordem na interface adsorvente-adsorbato durante o processo de adsorção de CAF. De acordo com a Tabela III, o valor de ΔH para o HMIP foi negativo e demonstra a natureza exotérmica do processo de adsorção. A magnitude do valor ΔH mostrou a natureza da energia de ligação da adsorção que indicou ligações de hidrogênio (5 a 30 kJ mol^{-1}) entre CAF e os grupos funcionais do HMIP.

Polímero	ΔH_{ads}^0 (kJ mol^{-1})	ΔS_{ads}^0 (J mol^{-1})	ΔG_{ads}^0 (kJ mol^{-1})				
			Temperatura (K)				
			283,15	293,15	303,15	313,15	323,15
HMIP	-21,68	-44,13	-9,2	-8,7	-8,3	-7,9	-7,4

Tabela III: Parâmetros Termodinâmicos para os HMIP/HNIP.

3.3 Estudos de seletividade

Para atestar a presença de sítios de impressão, com maior afinidade à CAF, nos polímeros em estudo, foi realizada a adsorção competitiva através de uma solução ternária com moléculas análogas à CAF, à TEF e à TEB.

Os resultados forneceram $k'=4,2$ para HMIP, demonstrando que o material

apresenta sítios seletivos à CAF, quando comparado aos seus polímeros controles. Com relação à k_d , observa-se claramente que o HMIP ($k_d=12,8$) adsorve mais CAF quando comparado ao HNIP ($k_d=3,03$). Enquanto para o coeficiente de seletividade (k), que é calculado pela razão do $k_{CAF/TEB}$ e $k_{CAF/TEB}$, foram encontrados valores de k para o HMIP com relação à adsorção de TEF e de TEB iguais a 4,1 e 4,4 respectivamente. Com base nesses resultados pode-se sugerir que a adsorção da CAF ocorre, preferencialmente, em sítios seletivos do HMIP.

3.4 Aplicação em amostras de águas superficiais

Para avaliar o efeito de matriz, sobre a adsorção da CAF no polímero sintetizado, realizou-se um estudo de recuperação em amostras de águas superficiais fortificadas com CAF. O estudo foi realizado nas mesmas condições experimentais que as usadas nos testes de seletividade. O HMIP apresentou adequada recuperação, 78%, demonstrando a seletividade do material frente às amostras complexas como as ambientais.

4 | CONCLUSÃO

Através desse estudo, pôde se observar que o polímero, quando impresso em superfície de sílica ativada, teve uma cinética de adsorção rápida (1 h). No entanto, quanto à cinética de adsorção, pôde se observar que o modelo de pseudo-segunda ordem descreveu com ajuste adequado a adsorção da CAF no HMIP, a qual sugere um processo envolvendo dois sítios na superfície do adsorvente.

O modelo isotérmico para o equilíbrio de adsorção que melhor descreveu os dados experimentais para o HMIP, foi o Langmuir-Freundlich dois sítios não linear, apresentando uma capacidade máxima de adsorção para o HMIP de $0,81 \text{ mg g}^{-1}$.

Os resultados obtidos no estudo de adsorção, em matriz de água superficial, ratificam as propriedades impressas nos polímeros sintetizados, acrescentando a importância do trabalho, já que poderá ser utilizado em aplicações futuras para o monitoramento da concentração de cafeína em águas superficiais.

AGRADECIMENTOS

À UnB – IQ, CNPQ e FAP-DF.

REFERÊNCIAS

ABD RAHIM, M. et al. **New Sol-Gel Hybrid Material in Solid Phase Extraction Combined with Liquid Chromatography for the Determination of Non-steroidal Anti-inflammatory Drugs in Water Samples.** *Chromatographia*, [s.l.], v. 79, nº 7–8, p. 421–429, 2016.

BALDIM, I. M. et al. **Application of the molecularly imprinted solid-phase extraction to the**

organophosphate residues determination in strawberries. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, [s.l.], v. 404, nº 6–7, p. 1959–1966, 2012.

CASARIN, J. et al. **Insight into the performance of molecularly imprinted poly (methacrylic acid) and polyvinylimidazole for extraction of imazethapyr in aqueous medium.** [s.l.], v. 343, nº March, p. 583–596, 2018.

COSTA SILVA, R. G. DA; AUGUSTO, F. **Sol-gel molecular imprinted ormosil for solid-phase extraction of methylxanthines.** *Journal of Chromatography A*, [s.l.], v. 1114, nº 2, p. 216–223, 2006.

HU, X. et al. **Novel surface dummy molecularly imprinted silica as sorbent for solid-phase extraction of bisphenol A from water samples.** *Talanta*, [s.l.], v. 148, p. 29–36, 2016.

JARDIM, W. F. et al. **An integrated approach to evaluate emerging contaminants in drinking water.** *Separation and Purification Technology*, [s.l.], v. 84, p. 3–8, 2012.

MACHADO, K. C. et al. **A preliminary nationwide survey of the presence of emerging contaminants in drinking and source waters in Brazil.** *Science of the Total Environment*, [s.l.], v. 572, p. 138–146, 2016.

MARIA, CARLOS A B DE, MOREIRA, R. F. A. **CAFÉINA: REVISÃO SOBRE MÉTODOS DE ANÁLISE Carlos.** [s.l.], v. 30, nº 1, p. 99–105, 2007.

SAMANIDOU, V. et al. **Matrix molecularly imprinted mesoporous sol-gel sorbent for efficient solid-phase extraction of chloramphenicol from milk.** *Analytica Chimica Acta*, [s.l.], v. 914, p. 62–74, 2016.

TARLEY, C. R. T.; SOTOMAYOR, M. D. P. T.; KUBOTA, L. T. **Polímeros biomiméticos em química analítica. Parte 1: preparo e aplicações de mip (“molecularly imprinted polymers”) em técnicas de extração e separação.** [s.l.], v. 28, nº 6, p. 1076–1086, 2005.

YANG, J. et al. **Novel sponge-like molecularly imprinted mesoporous silica material for selective isolation of bisphenol A and its analogues from sediment extracts.** *Analytica Chimica Acta*, [s.l.], v. 853, nº 1, p. 311–319, 2015.

YU, D. et al. **Dummy molecularly imprinted mesoporous silica prepared by hybrid imprinting method for solid-phase extraction of bisphenol A.** *Journal of Chromatography A*, [s.l.], v. 1396, p. 17–24, 2015.

ZHI, K. et al. **Influence of Size and Shape of Silica Supports on the Sol – Gel Surface Molecularly Imprinted Polymers for Selective Adsorption of Gossypol.** [s.l.], p. 1–16, 2018.

SOLUÇÃO ANALÍTICA DE PROBLEMA BIDIMENSIONAL DE CONDUÇÃO DE CALOR UTILIZANDO FUNÇÕES DE GREEN

José Aguiar dos Santos Junior

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade
de Engenharia Mecânica
Uberlândia – Minas Gerais

José Ricardo Ferreira Oliveira

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade
de Engenharia Mecânica
Uberlândia – Minas Gerais

Eduardo Peixoto de Oliveira

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade
de Engenharia Mecânica
Uberlândia – Minas Gerais

Guilherme Ramalho Costa

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade
de Engenharia Mecânica
Uberlândia – Minas Gerais

Jefferson Gomes Do Nascimento

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade
de Engenharia Mecânica
Uberlândia – Minas Gerais

Alisson Augusto Azevedo Figueiredo

Universidade Federal de Ouro Preto,
Departamento de Engenharia Mecânica
Ouro Preto– Minas Gerais

Gilmar Guimarães

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade
de Engenharia Mecânica
Uberlândia – Minas Gerais

condução de calor é uma alternativa importante, pois, entre outros fatores, apresenta menor custo computacional quando comparado com soluções numéricas. O método de Funções de Green é um método importante de soluções analíticas devido à possibilidade de resolver problemas transitórios de transferência de calor de condução, com geração interna e com condições variáveis de tempo. Em outras palavras, as Funções de Green são ferramentas matemáticas usadas para obter o campo de temperatura em problemas de condução de calor lineares, transitórios ou permanentes com geração interna. No presente trabalho, apresenta-se um problema bidimensional de condução de calor transiente. Usando Funções de Green, o campo de temperatura da solução foi determinado. Finalmente, através do uso de verificação intrínseca, a solução analítica obtida foi validada.

PALAVRAS-CHAVE: Solução Analítica, Campo de Temperatura, Verificação Intrínseca.

ANALYTICAL SOLUTION OF TWO-
DIMENSIONAL HEAT CONDUCTION
PROBLEM USING GREEN FUNCTIONS

ABSTRACT: Analytical solution of heat conduction problems is an important alternative because, among other factors, it presents a

RESUMO: Solução analítica de problemas de

lower computational cost when compared with numerical solutions. Green's Functions method is an important method of analytical solutions because of the possibility of solving transient problems of conduction heat transfer, with internal generation and with variable conditions of time. In other words, Green's Functions are mathematical tools used to obtain the temperature field in linear, transient or permanent heat conduction problems with internal generation. In the present work two-dimensional transient heat conduction problem is presented. Using Green's Functions, the solution temperature field was determined. Finally, through the use of intrinsic verification, the analytical solution obtained were validated.

KEYWORDS: Analytical solution, Temperature field, Intrinsic verification.

1 | INTRODUÇÃO

Funções de Green são ferramentas matemáticas empregadas na obtenção do campo de temperatura em problemas lineares, transientes ou permanentes, de condução de calor. Podem ser aplicadas na solução de um conjunto de questões de convecção e para diversos fenômenos que são descritos pelo mesmo tipo de equações (BECK et al, 1992).

O objetivo dos autores através deste trabalho é determinar a solução analítica de um problema de condução de calor bidimensional transiente com fluxo de calor parcial, além de realizar a verificação intrínseca da solução obtida.

Segundo Özişik (1993), o significado físico da Função de Green $G(t, t|r'\tau)$ em problemas transientes é a representação da temperatura no local r , no tempo t , devido a uma fonte pontual instantânea unitária, localizada no ponto r' , liberando energia no instante τ . De maneira similar, Beck et al (1992) definem as Funções de Green como sendo a distribuição de temperatura causada por um pulso de energia local e instantâneo. Fernandes (2009) ressalta a importância do uso das Funções de Green em problemas onde as condições de contorno variam com o tempo, caso no qual a solução através do método de separação de variáveis é descartada de imediato.

O uso das Funções de Green é precedido pela identificação dos tipos de condições de contorno presentes no problema. Na Tabela 1 apresenta-se os tipos de condições de contorno apresentado por Beck et al. (1992).

Identificadas as condições de contorno, as Funções de Green correspondentes ao problema de Condução de Calor podem ser obtidas em Beck et al. (1992). O campo de temperatura é determinado solucionando-se equações integrais.

Notação	Nomenclatura	Descrição
0	Tipo zero	Sem efeito físico de contorno
1	Dirichlet	Temperatura prescrita
2	Neumann	Fluxo de calor prescrito
3	Robin	Convecção
4	Carslaw	Filme fino, sem convecção
5	Jaeger	Filme fino, com convecção

Tabela 1 - Tipos de condição de contorno

2 | PROBLEMA PROPOSTO

Um problema bidimensional do tipo X22Y12 em regime transiente é apresentado esquematicamente na Fig. 1. A placa de dimensões $L \times W$, está inicialmente a uma temperatura $T(x, t, 0) = T_0$, é submetida à dois fluxos de calor parciais, q_0'' e q_1'' , em $x = 0$ e em $x = L$. Em $y = 0$ a temperatura é mantida em T_1 , e em $y = W$ a placa está isolada. A Função de Green que representa o problema proposto é dada pela Eq. 1.

$$G_{X22Y12} = \left[\frac{1}{L} + \frac{2}{L} \sum_{m=1}^{\infty} e^{-\frac{\alpha_m^2 \alpha(t-\tau)}{L^2}} \cos\left(\frac{\alpha_m x}{L}\right) \cos\left(\frac{\alpha_m x'}{L}\right) \right] \frac{2}{W} \sum_{n=1}^{\infty} e^{-\frac{\beta_n^2 \alpha(t-\tau)}{W^2}} \sin\left(\frac{\beta_n y}{W}\right) \sin\left(\frac{\beta_n y'}{W}\right) \quad (1)$$

onde $\alpha_m = m\pi$, e $\beta_n = (2n - 1)\frac{\pi}{2}$. Considerando as condições de contorno apresentadas na Fig. 1, a solução analítica do problema proposto é dada pela Eq. 2.

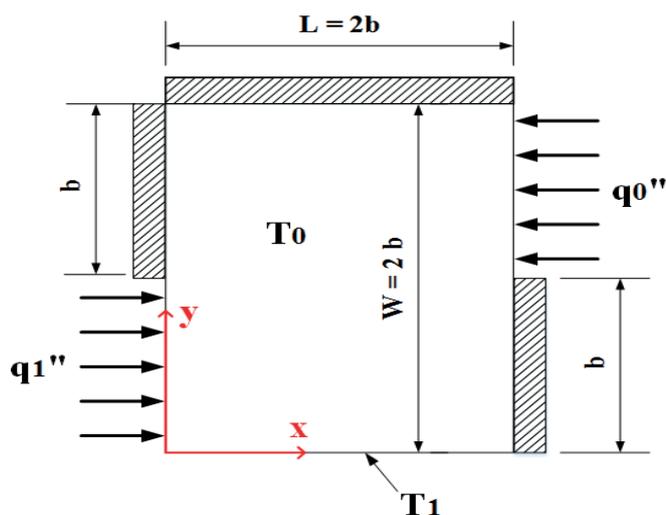
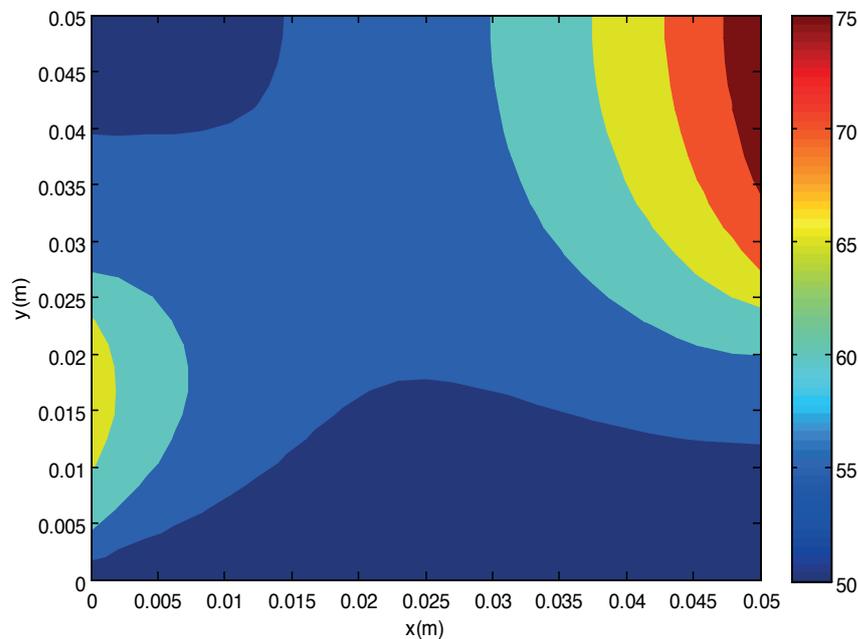


Figura 1 - Problema proposto.

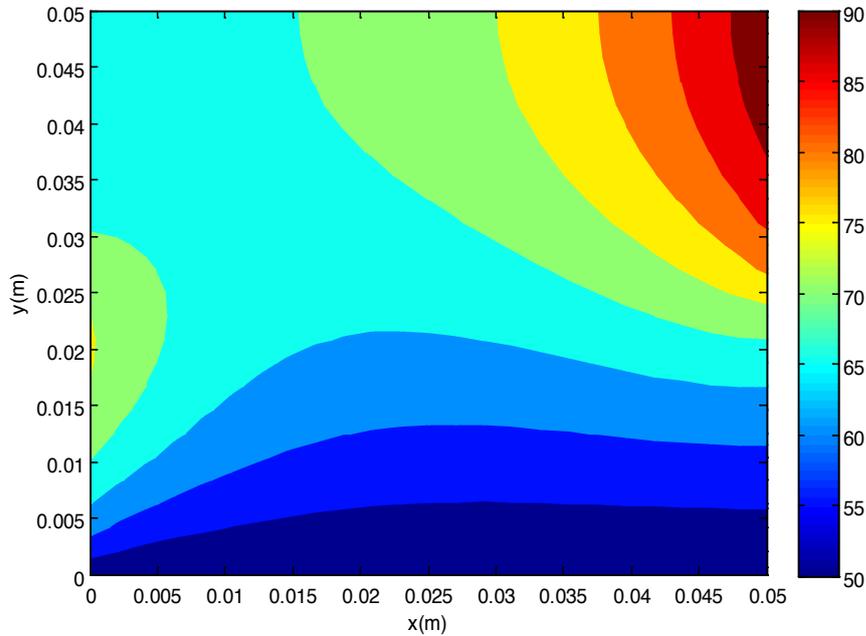
$$\begin{aligned}
T(x, y, t) &= 2(T_0 - T_1) \sum_{n=1}^{\infty} e^{-\frac{\beta_n^2 \alpha t}{W^2}} \sin\left(\frac{\beta_n y}{W}\right) \frac{1}{\beta_n} \\
&+ \frac{4q_2 W^2}{kL} \sum_{n=1}^{\infty} \sin\left(\frac{\beta_n y}{W}\right) \frac{1}{\beta_n^3} \left[1 - e^{-\frac{\beta_n^2 \alpha t}{W^2}}\right] \sin^2\left(\frac{W_1 \beta_n}{2W}\right) \\
&+ \frac{8q_2 W^2 L}{k} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \cos\left(\frac{\alpha_m x}{L}\right) \sin\left(\frac{\beta_n y}{W}\right) \left[\frac{\sin^2\left(\frac{W_1 \beta_n}{2W}\right)}{\beta_n (L^2 \beta_n^2 + W^2 \alpha_n^2)} \right] \left(1 - e^{-\frac{\beta_n^2 \alpha t}{W^2}} e^{-\frac{\alpha_m^2 \alpha t}{4L^2}}\right) + \frac{2q_0 W^2}{kL} \sum_{n=1}^{\infty} \sin\left(\frac{\beta_n y}{W}\right) \frac{1}{\beta_n^3} \left[1 - e^{-\frac{\beta_n^2 \alpha t}{W^2}}\right] \cos\left(\frac{W_1 \beta_n}{W}\right) + T_1 \\
&+ \frac{4q_0 L W^2}{k} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \cos\left(\frac{\alpha_m x}{L}\right) \frac{\cos(\alpha_m)}{\beta_n (L^2 \beta_n^2 + W^2 \alpha_n^2)} \sin\left(\frac{\beta_n y}{W}\right) \cos\left(\frac{W_1 \beta_n}{W}\right) \left[1 - e^{-\frac{\beta_n^2 \alpha t}{W^2}} e^{-\frac{\alpha_m^2 \alpha t}{L^2}}\right]
\end{aligned} \tag{2}$$

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

A solução analítica do problema X22Y12, apresentada na Eq. 2, foi implementada mediante uso do software MatLab®. Para tal, adotou-se $L = W = 0,05$ m, $q_1'' = q_0'' = 10^5$ Wm⁻², $T_0 = 28$ °C, $T_1 = 50$ °C, $k = 73$ Wm⁻¹K⁻¹, $\alpha = 2 \times 10^{-5}$ m²s⁻¹. Na Figura 2 apresenta-se o campo de temperatura, para (a) 50 s e (b) 100 s.



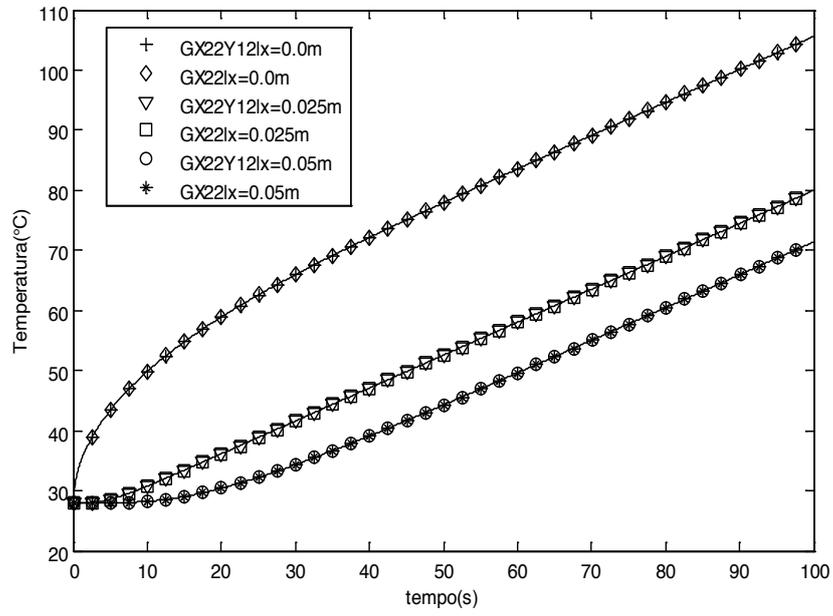
(a)



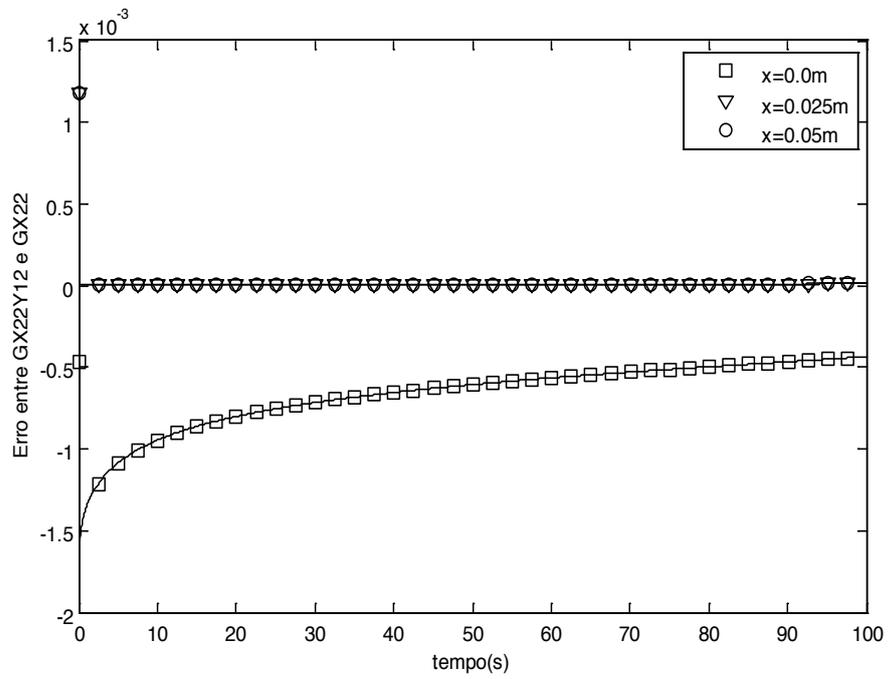
(b)

Figura 2 – Campo de temperatura: (a) $q_0'' = q_1'' = 10^5 \text{ Wm}^{-2}$, $t = 50 \text{ s}$; (b) $q_0'' = q_1'' = 10^5 \text{ Wm}^{-2}$, $t = 100 \text{ s}$

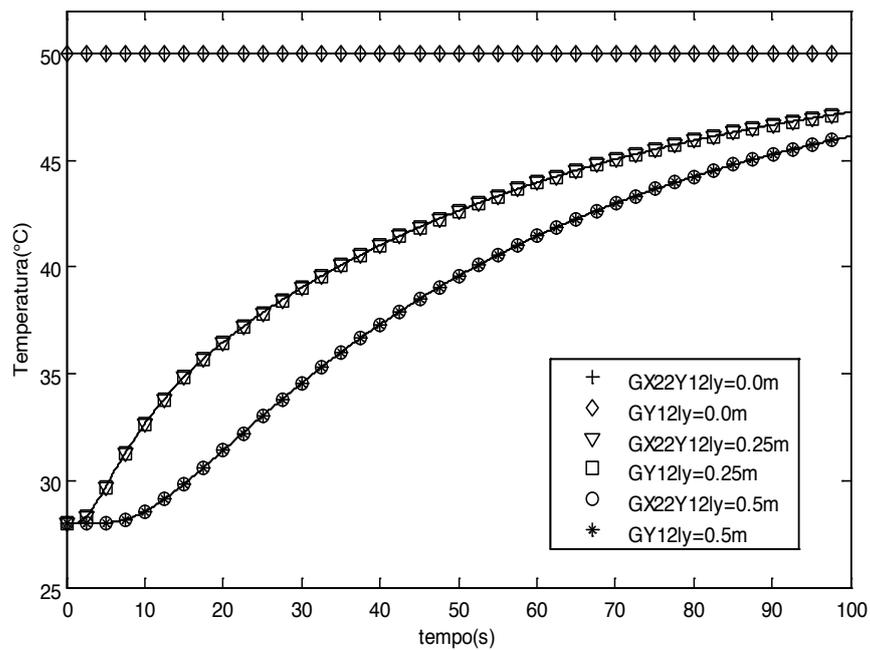
A verificação intrínseca foi realizada considerando o problema unidimensional. Os desvios entre as temperaturas do problema X22Y12 e o seu respectivo problema unidimensional são apresentadas. A Figura 3(a) apresenta a verificação entre X22Y22 e X22, levando-se em conta um fluxo $q_1'' = 10^5 \text{ Wm}^{-2}$ em $x = 0$ e para todo y , e em $x = L$ toda superfície isolada, $T_0 = 28 \text{ °C}$ e $T_1 = 50 \text{ °C}$. A Figura 3(b) apresenta o desvio entre as duas soluções em $x = 0 \text{ m}$, $x = 0,025 \text{ m}$ e $x = 0,05 \text{ m}$. É possível observar a boa concordância entre as soluções e o maior erro foi obtido em $x = 0 \text{ m}$ nos instantes iniciais. A Figura 3(c) apresenta a verificação entre X22Y22 e Y12, levando-se em conta $q_0'' = q_2'' = 0,1 \text{ Wm}^{-2}$, $T_0 = 28 \text{ °C}$ e $T_1 = 50 \text{ °C}$. A Figura 3(d) apresenta o desvio entre as duas soluções em $y = 0 \text{ m}$, $y = 0,025 \text{ m}$ e $y = 0,05 \text{ m}$. Observa-se um pequeno desvio entre as duas soluções. O maior erro foi obtido nos instantes iniciais, em $y = 0,0025 \text{ m}$ e $y = 0,05 \text{ m}$.



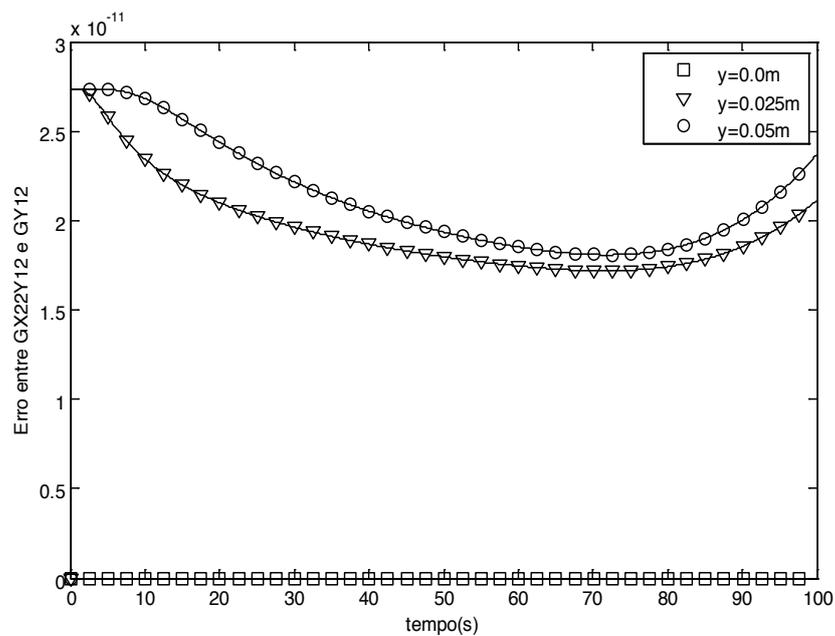
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 3 - (a) Verificação entre X22Y12 e X22 em $y=W/2$; (b) Erro entre X22Y12 e X22 em $y=W/2$; (c) Verificação entre X22Y12 e Y12 em $x=L/2$; (d) Erro entre X22Y12 e Y12 em $x=L/2$

4 | CONCLUSÕES

A partir da solução analítica encontrada para o problema X22Y12 foi possível determinar o perfil de temperatura do problema proposto. A verificação intrínseca foi realizada com os problemas X22 e Y12 nos eixos x e y , respectivamente. O maior erro encontrado foi de 0,016 e de $2,735 \times 10^{-11}$ nos eixos x e y , respectivamente, e

ocorreu nos instantes iniciais.

REFERÊNCIAS

Cole, K. D.; Beck, J. V.; Haji-Sheikh, A.; Litkouhi, B. "Heat Conduction Using Green's Function". Washington, DC: Hemisphere Publishing, 1992.

Fernandes, A. P. "Funções de Green: Soluções analíticas Aplicadas e Problemas Inversos em Condução de Calor". Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, 2009.

Özişik, M. N. "Heat Conduction". 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1993.

TAXAS DE FREQUÊNCIA E GRAVIDADE DOS ACIDENTES OCORRIDOS EM UM GRUPO DE PROPRIEDADES CAFEEIRAS CERTIFICADAS

Rafael Augusto Silva Souza

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais - IFSULDEMINAS, Muzambinho - Minas Gerais;

Geraldo Gomes de Oliveira Júnior

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais - IFSULDEMINAS, Muzambinho - Minas Gerais;

Armando Mendes Nogueira

Cia Agropecuária Monte Alegre, Departamento: Serviço Especializado em Segurança do Trabalho Rural SESTR, Monte Belo - Minas Gerais;

Raphael Nogueira Rezende

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais - IFSULDEMINAS, Muzambinho - Minas Gerais;

Agda Silva Prado Oliveira

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais - IFSULDEMINAS, Muzambinho - Minas Gerais;

Adriano Bortolotti da Silva

Universidade José do Rosário Vellano - UNIFENAS, Alfenas - Minas Gerais.

Patrícia Ribeiro do Valle Coutinho

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais - IFSULDEMINAS, Muzambinho - Minas Gerais;

RESUMO: Os acidentes e doenças do trabalho representam perdas reais ou potenciais tanto para trabalhadores quanto para empregadores.

As taxas de frequência e gravidade são indicadores tradicionais de segurança que possibilitam a análise parcial dos acidentes ao longo de períodos de exposição a riscos. Neste sentido, objetivou-se no presente estudo avaliar globalmente os acidentes ocorridos em um grupo de propriedades cafeeiras certificadas. O trabalho foi desenvolvido no sul de Minas Gerais, onde foi realizado um levantamento global dos acidentes de trabalho ocorridos nas propriedades do grupo, número de dias perdidos e horas de exposição ao risco entre os anos de 2012 a 2016, determinando-se taxas de frequência e gravidade conforme recomendado pela NBR 14.280. Os resultados demonstraram a maior taxa de frequência 13,45 observada no ano de 2016 e a maior taxa de gravidade 159,93 no ano de 2014. No período de 2012 a 2016, ocorreu um total de 64 acidentes, com uma média de 13,72 dias perdidos por acidente, sendo que nos meses de maio a agosto foram registrados os maiores quantitativos.

PALAVRAS-CHAVE: Cafeicultura; Estatísticas de Acidentes; Gestão de Riscos.

FREQUENCY AND GRAVITY RATES OF ACCIDENTS OCCURRING IN A GROUP OF CERTIFIED COFFEE PROPERTIES

ABSTRACT: Accidents and occupational

diseases represent real or potential losses for both workers and employers. Frequency and severity rates are traditional safety indicators that enable the partial analysis of accidents over periods of exposure to risks. In this sense, the objective of this study was to evaluate globally the accidents occurred in a group of certified coffee farms. The work was carried out in the south of Minas Gerais, where an overall survey of work accidents occurred at the group properties, number of days lost and hours of risk exposure between the years 2012 to 2016 was determined, frequency and gravity as recommended by NBR 14.280. The results showed the highest frequency rate 13.45 observed in the year 2016 and the highest rate of severity 159.93 in the year 2014. In the period from 2012 to 2016, a total of 64 accidents occurred, with an average of 13, 72 days lost by accident, being that in the months of May to August were registered the greater quantitative

KEYWORDS: Coffee; Accident Statistics; Risk management.

1 | INTRODUÇÃO

O cafeeiro destaca-se por ser uma das principais culturas agrícolas do país e, ao longo dos anos, vem ocupando novos espaços no mercado internacional, transformando a antiga imagem de produtor apenas de commodities para o de fornecedor de cafés que valoriza princípios de sustentabilidade (PALMIERI, 2008).

Neste contexto, além da necessidade definida pela legislação, tem-se observado que a segurança no trabalho tem chamado atenção do setor agrícola, em função da sua importância para o cumprimento dos protocolos e obtenção dos selos de certificação que contribuem para agregar valor direta e indiretamente ao produto (CARVALHO; BOREM; RABELO, 2008).

Os acidentes e doenças do trabalho representam perdas reais ou potenciais tanto para trabalhadores quanto para empregadores. Para o trabalhador pode influenciar na perda da saúde, qualidade de vida pessoal, social e profissional. Para o empregador, compreende perdas produtivas e financeiras, aumento do absenteísmo, ações judiciais, perdas e até influência na imagem corporativa da organização.

Taxa de Frequência (TF) e Taxa de Gravidade (TG) são indicadores estatísticos de acidentes de trabalho, que apresentam parâmetros objetivos, os quais permitem avaliar e compreender, em partes, o panorama dos acidentes ocorridos ao longo de determinados períodos de exposição a riscos.

Neste sentido, objetivou-se no presente estudo avaliar globalmente os acidentes ocorridos em um grupo de propriedades cafeeiras certificadas no sul de Minas Gerais, utilizando-se das taxas de frequência e gravidade.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo de caso foi desenvolvido na Cia Agropecuária Monte Alegre,

com suas propriedades localizadas nos municípios de Monte Belo, Areado, Divisa Nova, Alfenas, Machado, Conceição dos Ouros e Paraisópolis no sul de Minas Gerais.

Inicialmente foi realizado um levantamento mensal dos acidentes de trabalho e do total de dias perdidos para cada acidente, nas propriedades do grupo Monte Alegre Coffee ao longo do período 2012 a 2016. Essas informações foram coletadas, junto ao Serviço Especializado em Segurança e Saúde no Trabalho Rural SESTR que foram extraídas das Comunicações de Acidentes de Trabalho CAT e dos registros administrativos do setor de recursos humanos.

A estimativa de exposição ao risco foi determinada multiplicando-se o número de trabalhadores pelo número de dias trabalhados e pela média do número de horas trabalhadas por dia, conforme recomendado pela NBR 14280 (ABNT, 2001). A taxa de frequência foi determinada, de acordo com o recomendado pela ABNT (2001), a partir da seguinte equação (Eq. 1):

$$F = \frac{N \times 1000.000}{H}$$

Em que:

F é a taxa de frequência;

N é o número de acidentes no período avaliado;

H representa as horas-homem de exposição ao risco.

A taxa de gravidade foi determinada, de acordo com o recomendado pela NBR 14280 da ABNT (2001), a partir da seguinte Equação (Eq. 2):

$$G = \frac{T \times 1000.000}{H}$$

Em que:

G é a taxa de gravidade;

T é o tempo computado em dias perdidos;

H representa as horas-homem de exposição ao risco.

O conjunto de dados utilizado no presente estudo foi baseado no número de acidentes de trabalho ocorridos durante os tratos culturais anuais da produção de café, sendo aplicada estatística descritiva para análise dos resultados.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na figura 1, estão apresentadas as Taxas de Frequência (TF) e Taxa de Gravidade (TG) global dos acidentes ocorridos nas propriedades do grupo Monte Alegre Coffee durante realização das atividades anuais no cafeeiro ao longo do período de 2012 a 2016.

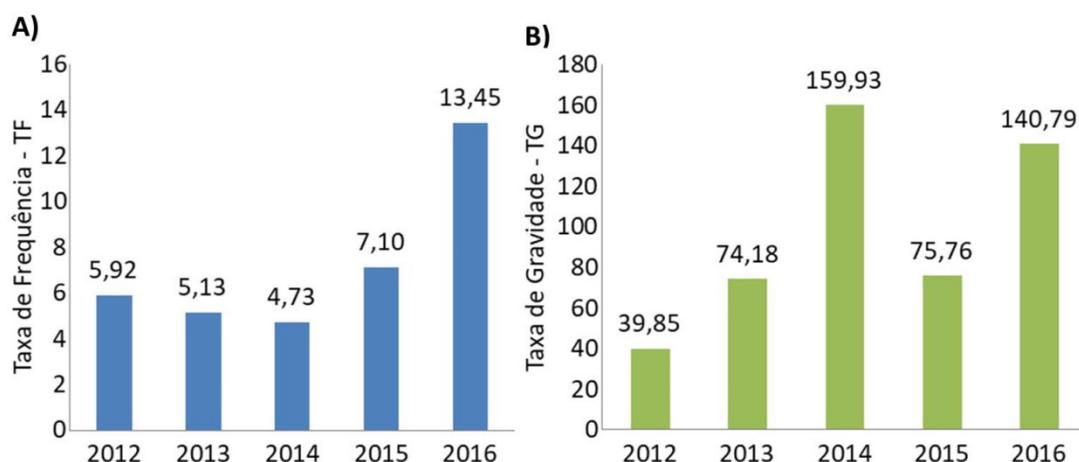


Figura 1 - Taxa de Frequência (A) e Taxa de Gravidade (B), dos acidentes ocorridos ao longo do período de 2012 a 2016 nas propriedades cafeeiras avaliadas.

Os dados demonstram que a maior taxa de frequência ocorreu no ano de 2016 e a maior taxa de gravidade no ano de 2014. É possível verificar que tanto as taxas de frequência (TF), quanto as taxas de gravidade (TG) encontradas, ficaram abaixo dos valores de referência (TF até 20 e TG até 500), considerados muito bons pela Organização Internacional do Trabalho (OIT) (TAVARES, 2012). Ressalta-se, no entanto, que sobre o ponto de vista prevencionista, todas as empresas devem estabelecer como meta aceitável o número zero acidentes, direcionando suas ações preventivas para o controle dos incidentes.

Muito embora os anos de 2012 e 2016 tenham apresentado o mesmo número absoluto de acidentes 15 (quinze), observa-se uma maior TF no ano 2016, em decorrência da redução no número médio de trabalhadores anuais, o que representa queda no número de Horas Homens de Exposição ao risco para efeito de cálculo. A maior taxa de gravidade do ano de 2014 está relacionada ao total acumulado de dias perdidos, (304 dias para 9 acidentes) o que representa uma média de 33,8 dias perdidos por acidente.

Ao analisar o acumulado mensal dos acidentes ocorridos no período 2012 a 2016, observa-se que a maior prevalência foi registrada nos meses de maio a julho (Figura 2), período que coincide com o pico das atividades de colheita do cafeeiro e maior volume de mão de obra.

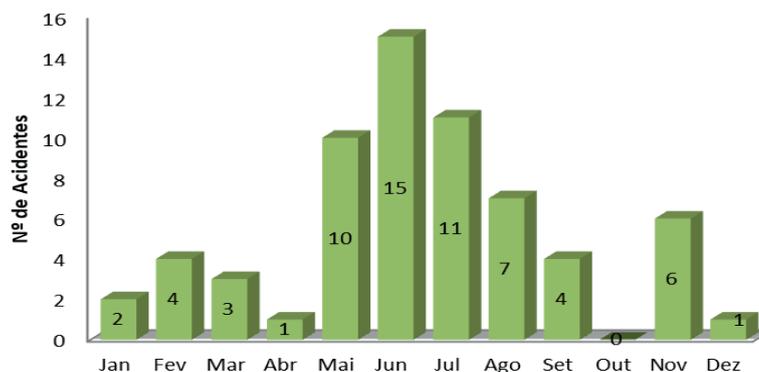


Figura 2 - Total de acidentes mensais para o período de 2012 a 2016.

Este estudo não teve por finalidade avaliar as causas dos acidentes, necessitando de novos trabalhos para análises específicas e individualizados para cada acidente.

4 | CONCLUSÃO

A partir deste estudo, foi possível verificar que a maior taxa de frequência (13,45) ocorreu no ano de 2016 e a maior taxa de gravidade (159,93) foi observada no ano de 2014.

Ao longo do período 2012 a 2016, houve um total de 64 acidentes, com uma média de 13,72 dias perdidos por acidente, sendo que nos meses de maio a julho foram registrados os maiores números de acidentes de trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Serviço Especializado em Segurança e Saúde no Trabalho Rural SESTR da Cia Agropecuária Monte Alegre pelo fornecimento dos dados e apoio na realização do presente estudo.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14280: Cadastro de acidentes de trabalho - Procedimento e classificação**. Rio de Janeiro, 2001.

CARVALHO, C. da. C.S.; BOREM, F.M.; RABELO, G.F. **Levantamento dos riscos existentes à segurança e à saúde do trabalhador na pós-colheita de café (*Coffea arabica*) conforme as exigências das normas regulamentadoras**. Ciênc. agrotec., Lavras, v. 32, n. 2, p. 463-468, 2008.

PALMIERI, R.H. **Impactos socioambientais da certificação Rainforest Alliance em fazendas produtoras de café no Brasil**. 2008. 197p. Dissertação (Mestre em Ecologia Aplicada) - Universidade de São Paulo USP, Piracicaba. 2008.

TAVARES, J. C. **Noções de Prevenção e Controle de Perdas em Segurança do Trabalho**. 8ª ed. São Paulo, Editora Senac, 2012. 165 p.

UM SISTEMA COLABORATIVO DE INCENTIVO A DOAÇÃO DE SANGUE

Aluísio José Pereira

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB, Cajazeiras, Paraíba, Brasil.

Fábio Abrantes Diniz

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB, Cajazeiras, Paraíba, Brasil.

Elder Gonçalves Pereira

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB, Cajazeiras, Paraíba, Brasil.

Francisco Paulo de Freitas Neto

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB, Cajazeiras, Paraíba, Brasil.

Elissandra Cheu Pereira do Nascimento

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB, Cajazeiras, Paraíba, Brasil.

RESUMO: Objetivo: Implementar um sistema colaborativo que promova o incentivo e apoio a doação de sangue. Permitindo realizar pedidos de doação de sangue para paciente específico, divulgar campanhas de abrangência geral, consultar informações de locais para doação, assim como, manter os usuários atualizados sobre os níveis de estoques de sangue dos hemocentros e divulgar os

procedimentos necessários para se tornar doador de sangue. **Método:** Foi realizado um levantamento qualitativo das principais ferramentas com propostas relacionadas possíveis de atender a região de Cajazeiras, Paraíba, Brasil. **Resultados:** Identificou-se a existência de ferramentas possíveis de atender a região do estudo utilizando-as para conhecer as necessidades e definição do escopo do sistema colaborativo propondo novas abordagens no desenvolvimento para implantação no Hemonúcleo da cidade de Cajazeiras. **Conclusão:** O desenvolvimento do sistema colaborativo contemplou uma série de funcionalidades para unir hemocentros e candidatos à doação de sangue para melhor manutenção da vida de inúmeros pacientes.

PALAVRAS-CHAVE: Doação de Sangue; Sistema colaborativo; Hemocentros.

A COLLABORATIVE SYSTEM TO ENCOURAGE BLOOD DONATION

ABSTRACT: Objective: Implementing a collaborative system that promotes the encouragement and support of blood donation. Permitting specific patient blood donation requests, disseminating general outreach campaigns, reviewing site information for donation, as well as keeping users up-to-date on blood stock levels of blood centers and disclose

the procedures necessary to become donor blood. **Method:** A qualitative survey was carried out of the main tools with possible related proposals to serve the region of Cajazeiras, Paraíba, Brazil. **Results:** It was identified the existence of possible tools to encompass the region of the study using them to know the needs and definition of the scope of the collaborative system proposing new approaches in the development for implantation in the Hemonúcleo of the city of Cajazeiras. **Conclusion:** The development of the collaborative system contemplated a series of functionalities to join blood centers and candidates to blood donation to better maintain the life of several patients.

KEYWORDS: Blood donation; Collaborative system; Blood centers.

UN SISTEMA COLABORATIVO DE INCENTIVO A LA DONACIÓN DE SANGRE

RESUMEN:Objetivo: Implementar un sistema colaborativo que promueve el incentivo y apoyo a la donación de sangre. Permitir realizar pedidos de donación de sangre para pacientes específicos, divulgar campañas de alcance general, consultar información de lugares para donación, así como, mantener a los usuarios actualizados sobre los niveles de existencias de sangre de los bancos de sangre y divulgar los procedimientos necesarios para convertirse en donante de sangre la sangre. **Método:** Se realizó un relevamiento cualitativo de las principales herramientas con propuestas relacionadas posibles de atender la región de Cajazeiras, Paraíba, Brasil. **Resultados:** Se identificó la existencia de herramientas posibles de atender a la región del estudio utilizándolas para conocer las necesidades y definición del alcance del sistema colaborativo proponiendo nuevos abordajes en el desarrollo para implantación en el Hemonúcleo de la ciudad de Cajazeiras. **Conclusión:** El desarrollo del sistema colaborativo contempló una serie de funcionalidades para unir los bancos de sangre y candidatos a la donación de sangre para mejor mantenimiento de la vida de innumerables pacientes.

PALABRAS CLAVE: Donación de Sangre; Sistema colaborativo; Los bancos de sangre.

INTRODUÇÃO

No Brasil cerca de 3,5 milhões de pessoas necessitam da realização de transfusão de sangue por ano⁽¹⁾. Diante disso, é importante traçar mecanismos voltados à prevenção da vida de inúmeros pacientes que dependem de transfusão de sangue por meio da manutenção dos estoques sanguíneos.

Sendo assim, os hemocentros se deparam com a necessidade de adotar medidas que influenciem novos doadores a se prontificarem espontaneamente para doação de sangue, uma vez que a Constituição Federal de 1988, vigente atualmente, em seu §4º do Art. 199 que discorre sobre a coleta, processamento, estocagem, distribuição e aplicação do sangue, coloca em estado de proibição qualquer tipo de comercialização do sangue e seus hemoderivados⁽²⁾.

Mediante o estado de proibição, o governo aplica e disponibiliza recursos

para a realização de campanhas de utilidade pública, visando à manutenção e o abastecimento dos estoques sanguíneos que, tais recursos proporcionaram um gasto de R\$ 85,4 milhões de todo o orçamento para publicidades do Governo Federal em 2015⁽³⁾.

Os resultados destes gastos deveriam ser colhidos sucessivamente nos anos seguintes, construindo uma conscientização para surgirem sempre novas doações. No entanto, de acordo com os resultados dos dados coletados nos anos de 2016 e 2017 e divulgados no Dia Mundial do Doador de Sangue, celebrado em 14 de junho de 2017, no Hemocentro de Brasília (FHB)⁽⁴⁾, o percentual de doadores de 1,8% da população brasileira, mesmo estando dentro do indicado pela Organização Mundial da Saúde (OMS) ainda não era o ideal para o Brasil⁽¹⁾. O indicado é que a taxa de doações de sangue sempre caminhe afrente das necessidades de transfusões sanguíneas, já que o sangue e hemoderivados são fundamentais para a permanência da vida de pacientes. Para que ocorram melhorias e esse processo não se inverta é de extrema importância acolher iniciativas que visem atrair novos doadores, levando ao conhecimento de todos aqueles com condições favoráveis a importância de doar sangue.

O sistema desenvolvido neste estudo permite compartilhar as motivações para se tornar doador de sangue por meio de pedidos de doação para pacientes específicos e de campanhas de abrangência geral. Permite também, consultar informações sobre os locais onde possa realizar doação de sangue e melhor se informar sobre o passo-a-passo de triagem e coleta do sangue, assim como, manter-se atualizado e informado sobre os níveis dos estoques sanguíneos em dado hemocentro/hemonúcleo. Além disso, recolher informações dos candidatos à doação, e disponibilizar para os administradores do hemocentro/hemonúcleo um mapa para auxiliar a tomada de decisões na elaboração das campanhas de cativação de novos doadores, conforme a necessidade sanguínea.

A ferramenta desenvolvida pode ser utilizada para, por exemplo, a partir dos níveis de estoques de determinado tipo sanguíneo estarem baixo saber em quais regiões de uma cidade se concentra mais candidatos à doação de sangue do tipo necessário, ajudando assim, na aplicação e implementação da Política Nacional de Promoção da Doação Voluntária de Sangue principalmente na região de Cajazeiras, Paraíba, Brasil.

MÉTODOS

A realização do trabalho iniciou-se por meio de um estudo para analisar os critérios definidos pela legislação brasileira possível de serem utilizados para atrair candidatos para realização de novas doações de sangue. Conduziu-se também um estudo qualitativo com o propósito de relacionar os sistemas com propostas parecidas

possíveis de serem utilizados na região de Cajazeiras do estado da Paraíba, para assim entender a viabilidade do desenvolvimento do sistema colaborativo deste trabalho, definindo o escopo e propondo novas funcionalidades.

Adotando a metodologia ágil *Scrum* como abordagem para o gerenciamento do projeto do *software* dividiu-se a realização do sistema, seguindo um fluxo das seguintes etapas:

- a. Conceituação da solução proposta: que visou entender as problemáticas e as possíveis soluções;
- b. Levantamento de requisitos: que possibilitou listar os requisitos com a finalidade de documentar todas as funcionalidades;
- c. Visão geral dos requisitos: em que foi feita uma modelagem que ajuda na comunicação e interpretação dos requisitos;
- d. Projeto arquitetural do sistema: definição da arquitetura, a separação em camadas e tecnologias a serem utilizadas para o desenvolvimento;
- e. Implementação das funcionalidades: desenvolvimento em si do sistema colaborativo (MútuoSanguíneo);
- f. Versionamento e validação: separação das implementações dos requisitos levantados, validada cada etapa junto ao Hemonúcleo da cidade de Cajazeiras no estado da Paraíba.
- g. Comparativo com ferramentas existentes.

Para validação das implementações das funcionalidades foi elaborado um questionário de aceitação, possibilitando aos interessados no desenvolvimento do sistema indicar o nível de satisfação quanto às funcionalidades implementadas e confirmar o posicionamento para cada implementação quanto ao grau atendimento se Excelente, Bom, Regular, Ruim ou Péssima.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Proporcionar um ambiente colaborativo, dotado das condições necessárias, que leve os candidatos a se decidirem voluntariamente a realizarem doações de sangue, não é tão simples. Para Massuchetto apud Maxim⁽⁵⁾ a tomada de decisão é uma habilidade complexa, mas que pode ser desenvolvida por meio de assistência e orientação.

Pensando assim, existem sistemas computacionais que conseguem fornecer informações fundamentais para tomada de decisões. Os *softwares* colaborativos de apoio coletivo à tomada de decisão é exemplo disso. Esta é uma classe de sistemas usados para ajudar às pessoas no exercício de atividades e trabalhos em conjuntos⁽⁶⁾. A abordagem deste autor caminha em encontro a etimologia do termo colaboração,

que conforme Rios et al. ⁽⁷⁾ (apud HOUAISS; VILLAR, 2009) significa trabalhar em comum acordo, ou seja, em coordenação harmônica de ações, diferentemente da cooperação que é trabalhar com outros sem a existência do consenso.

Para Rios et al. ⁽⁷⁾ (apud FUKS et al., 2011) os sistemas colaborativos devem permitir a comunicação sem a dependência de tempo e espaço proporcionando condições para que grupos com objetivos comuns possam interagir.

Desta forma, Rios et al. ⁽⁷⁾ (apud FUKS et al., 2011 apud ELLIS, et al., 1991) apresentam o modelo 3C, baseando-se na concepção de que para os membros de um grupo colaborarem se faz necessário:

- a. Comunicação: suporte a integração fácil e rápida dos grupos, pelo recebimento e envio de informações solicitações e instruções;
- b. Coordenação: permite uma sequência de tarefas de forma a buscarem um objetivo comum;
- c. Cooperação: proporcionando a realização do trabalho em conjunto, possibilitando unir experiências e habilidades.

Neste sentido temos a construção do MútuoSanguíneo pautando-se na visão dos processos decisórios e na análise das informações fornecidas de forma colaborativa pelos usuários para proporcionar apoio aos hemocentros/hemonúcleos na identificação das necessidades de trabalhar campanhas e ações na implantação da política de incentivo e apoio a doação de sangue. E com isso auxiliar no exercício de atrair novos candidatos para a prática da doação de sangue.

O desenvolvimento de *software* precisa ser apoiado na qualidade. A qualidade é um item preponderante para o sucesso de um software, estando ela ligada ao atendimento dos requisitos⁽⁸⁾. Para a construção de um sistema com foco na qualidade se faz necessário à adoção de metodologias, ou seja, fazer uso de abordagens tidas como práticas já firmadas no desenvolvimento de *software*⁽⁸⁾. Sendo assim, o processo de desenvolvimento *Scrum* foi usado para gerenciar o projeto de *software*, adequando-o ao contexto do sistema colaborativo o qual este trabalho está inserido.

O *Scrum* é uma metodologia ágil usada para gerenciar o desenvolvimento de projetos complexos desde o início de 1990 que tem como prerrogativa não resultar de um processo ou uma técnica rígida e definitiva para construção de produtos, mas sim, ser uma estrutura dentro da qual cada um pode empregar vários processos ou técnicas⁽⁹⁾. Essa metodologia enfatiza o uso de um conjunto de padrões de processos de *software* que provaram serem eficazes para projetos com prazos de entrega apertados, requisitos mutáveis e críticos de negócio⁽⁸⁾.

Nesta perspectiva, foi feita uma lista das obrigatoriedades levando em consideração as prioridades dos interessados no sistema, postas para serem trabalhadas. Na implementação das funcionalidades preocupou-se sempre com questões como: sincronia no desenvolvimento e adequação das propostas em relação a mudanças de requisitos, quando necessário, para melhoria na identificação

de possíveis impedimentos no desenrolar da construção das funcionalidades.

Para estabelecer uma melhor compreensão o diagrama de caso de uso da Figura 1 apresenta uma visão geral das funcionalidades levantadas a serem distribuídas para os dois tipos de atores envolvidos na utilização do sistema. O caso de uso é uma abordagem da *Unified Modeling Language* (UML) em forma de diagramas que fornece uma visão dos requisitos do sistema na perspectiva do usuário⁽¹⁰⁾. Desta forma cada caso de uso define um conjunto de funcionalidades a serem implementados no sistema.

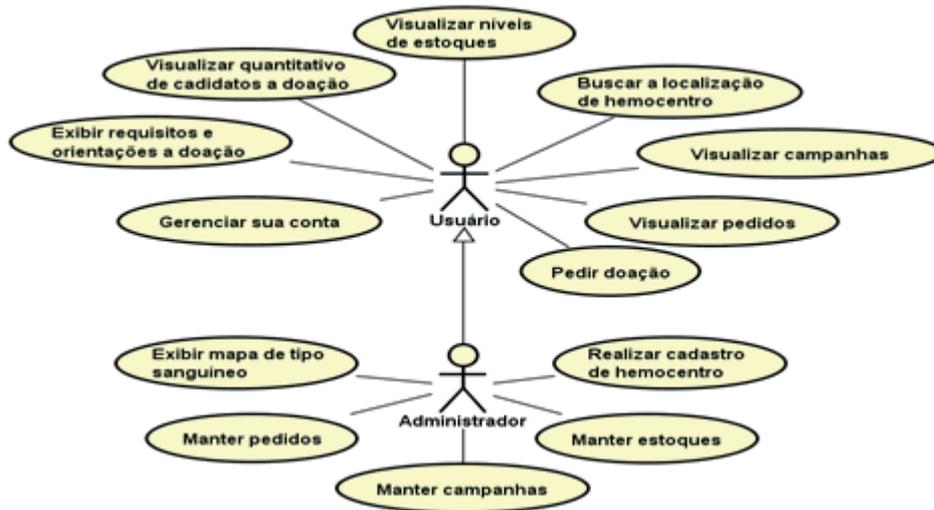


Figura 1 – Visão geral das funcionalidades do sistema

Foi projetada a implantação e execução do sistema em um servidor de aplicação na rede mundial de computadores. Desta forma para acessar as principais funcionalidades disponibilizadas pelo sistema os usuários necessitam de acesso à *Internet*, fazer uso de um navegador (*browser*) e em casos de funcionalidades restritas de realizar a adequada autenticação no sistema.

Sendo assim, foi essencial traçar uma independência dos códigos, e assim, organizou-se o sistema em camadas seguindo o *Model View Control* (MVC)⁽¹¹⁾. Desta maneira, isolando as regras de negócios das suas principais interfaces gráficas, atentando para aspectos de segurança e proporcionando uma separação entre os componentes das camadas.

Todo o projeto seguiu princípios da orientação a objetos em que foi utilizado principalmente abordagem da linguagem de programação JavaTM⁽¹²⁾ para o desenvolvimento de aplicações *Web*. Entretanto, em apoio a esta linguagem foram utilizadas outras tecnologias, usufruindo sempre o que de melhor tenham a oferecer, em cada camada, para promover uma boa experiência aos usuários do sistema.

A Figura 2 a apresenta as camadas e as principais tecnologias e recursos utilizados na implementação do sistema seguindo a abordagem de múltiplas camadas para melhor dividir as responsabilidades.

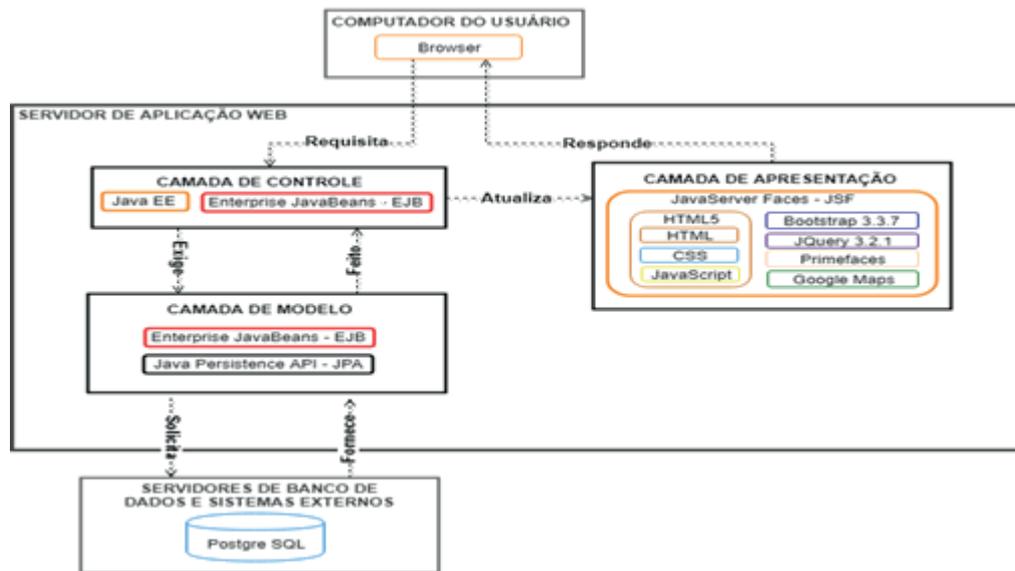


Figura 2 – Visão geral das tecnologias usadas nas camadas do sistema

Esta abordagem de múltiplas camadas permite a inserção de mais recursos e/ou criação de interfaces ou até mesmo novas camadas, sem alterar o código do modelo de negócio, permitindo trabalhar em recursos de uma determinada camada sem a problemática direta de fragilizar as demais e com isso, potencializando a manutenibilidade sem perdas na realização das operações do sistema.

Como resultado deste trabalho foi desenvolvido um sistema colaborativo (MútuoSanguíneo) para contribuir no processo de doação de sangue. Além da disseminação das necessidades de doação sanguínea, o sistema também tem como proposta tornar mais acessíveis informações pertinentes para candidatos à doação de sangue. Auxiliando na aplicação da Política Nacional de Promoção da Doação Voluntária de Sangue disponibilizando um ambiente mútuo aos usuários do sistema possibilitando difundirem as motivações e razões para se tornar doador, contribuírem para propagar as orientações, os critérios, as campanhas e os pedidos para aqueles que necessitam de doação de sangue.

Tomando como ponto de partida o levantamento de requisitos do sistema, temos as implementações das funcionalidades do MútuoSanguíneo tidas como as principais para o entendimento do sistema. Exibir requisitos e orientação para doação às orientações aos candidatos à doação de sangue conforme apresenta a Figura 3, possibilita conhecer os principais critérios, orientações e impedimentos para realizar a doação de sangue.

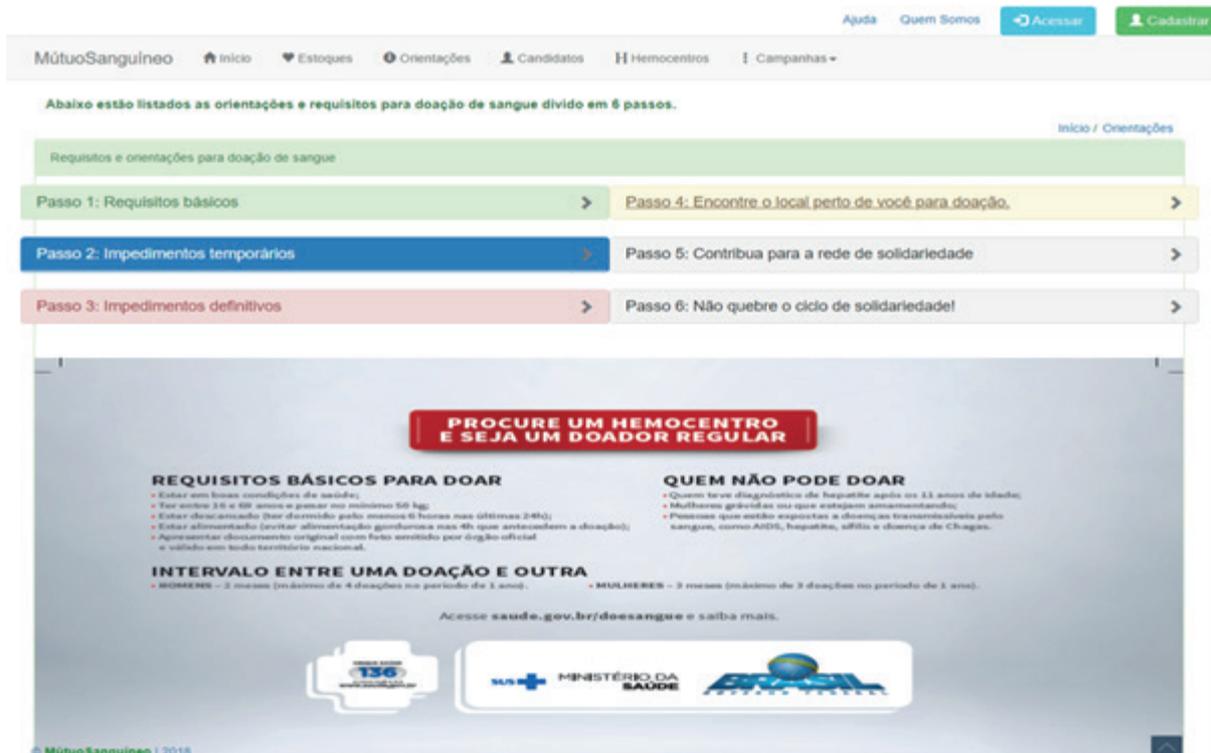


Figura 3 – Página de requisitos e orientações para doação

Visualizar níveis de estoques do hemocentro/hemonúcleo, ou seja, níveis de estoques de coletas de sangue do hemocentro/hemonúcleo é também um importante requisito para a cativação de novos doadores. Condizente com a realidade de cada hemocentro/hemonúcleo é o ponto principal para que novas campanhas sejam trabalhadas, visando a manutenibilidade dos níveis dos bancos de coletas. Conforme apresenta a Figura 4 com uma exibição por tipo sanguíneo para dado hemocentro/hemonúcleo pesquisado, o propósito primordial desta funcionalidade é com este levantamento ser possível a percepção de quais tipos sanguíneos estão em baixa, precisando de novas doações.

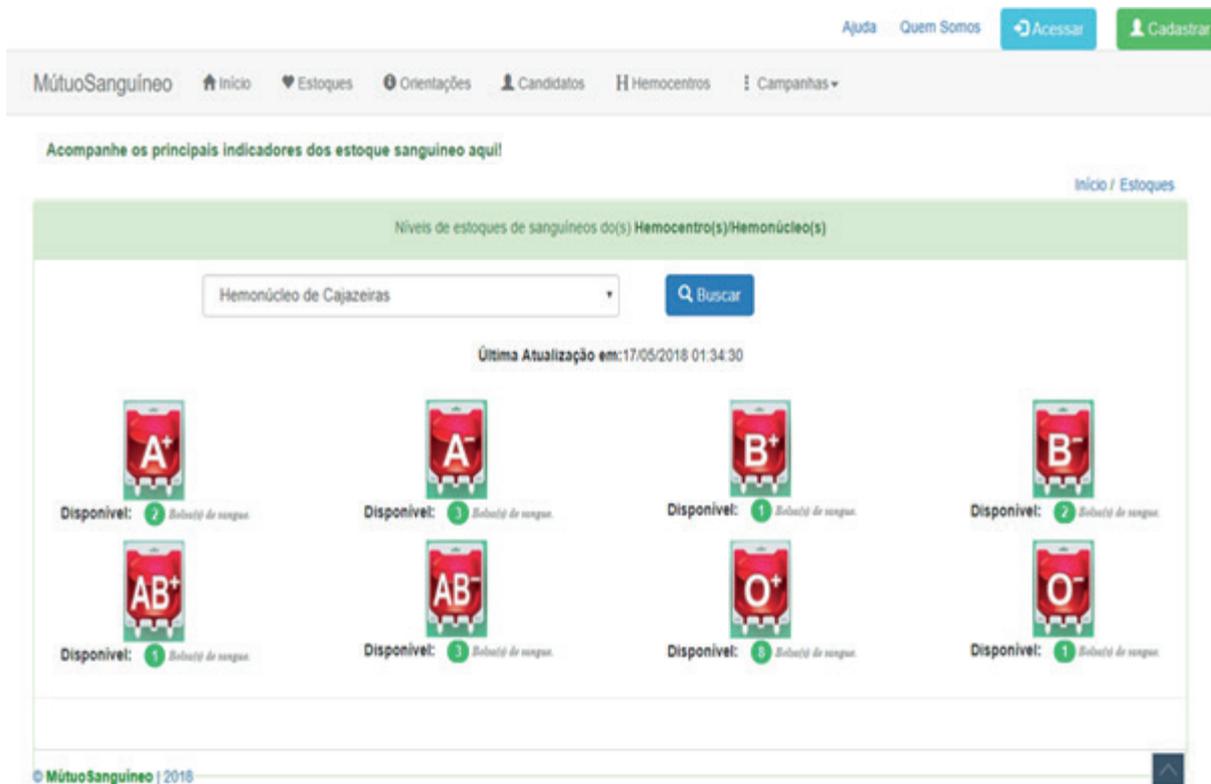


Figura 4 – Página de níveis de estoques do hemocentro/hemonúcleo

Buscar a localização de hemocentros cadastrados no sistema visa assessorar os candidatos à doação de sangue a identificarem os locais apropriados para o exercício da prática. Para a construção deste requisito se fez necessário seguir as especificações do *Google Places API*¹, tendo com isso uma associação dos dados no mapa à real localização da unidade de coleta cadastrada.

Para melhor entender, a Figura 5, apresenta a página com uma lista dos hemocentros/hemonúcleos cadastrados no sistema. As informações apresentadas ao usuário são referentes a cada instituição de coleta, exibindo o nome, o endereço, o estado e a cidade de localização, o tipo de atividade que a instituição tem capacidade de realizar e o telefone da instituição.

Como também ao clicar no botão com texto “Localização no Mapa” referente a um hemocentro/hemonúcleo, o sistema apresenta uma visualização da localização da instituição de coleta no mapa conforme a Figura 6. Para isso, o sistema realiza uma busca na base de dados e retorna as coordenadas latitudes e longitude devidamente cadastradas para a construção da localização e assim, centralizando e marcando no mapa a posição referente da unidade de coleta.

1. <https://developers.google.com/places/?hl=pt-br>

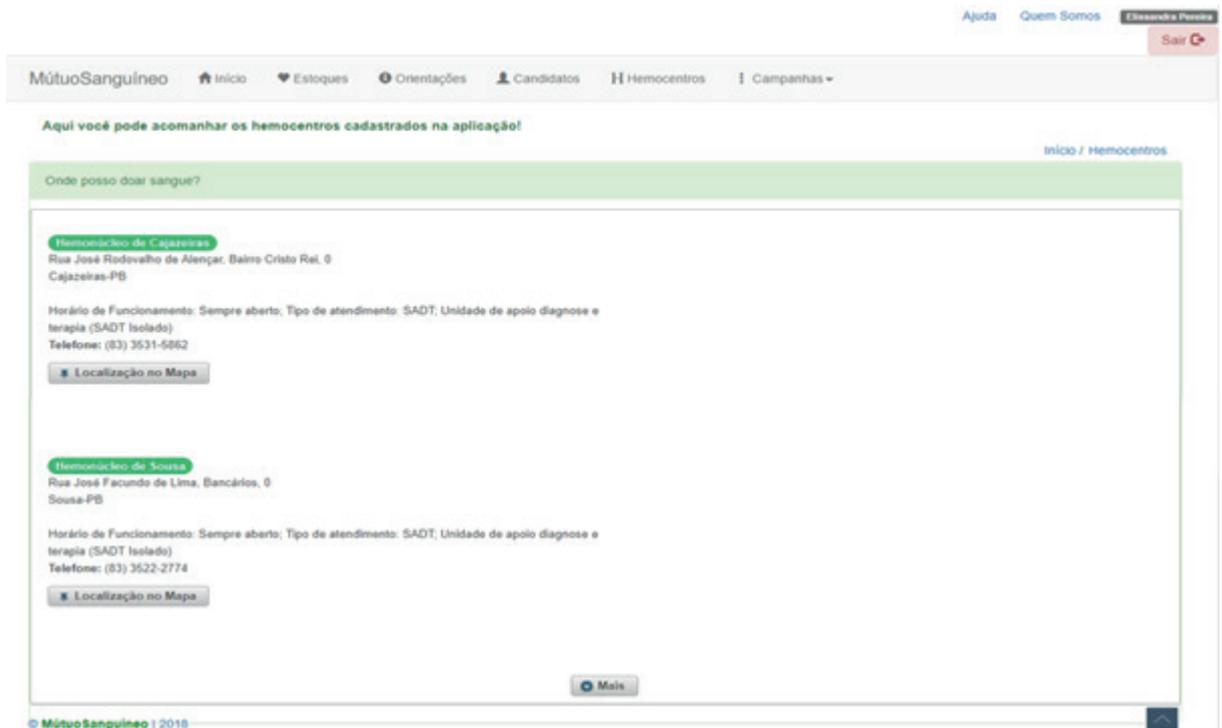


Figura 5 – Página dos hemocentros/hemonúcleos cadastrados

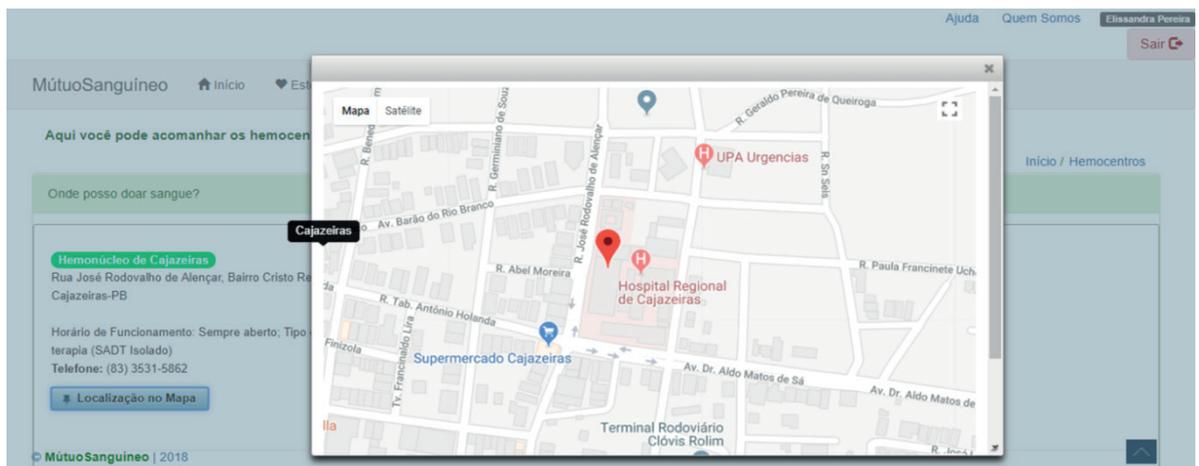


Figura 6 – Página Localização no Mapa do hemocentro/hemonúcleo.

A exibição do mapa de tipo sanguíneo e fator RH (Grupo Sanguíneo), também é uma funcionalidade essencial do sistema, uma vez que a mesma proporcionar ao administrador dos hemocentros/hemonúcleo vislumbra as informações disponibilizadas pelos usuários ao se cadastrarem na aplicação, possibilitando com isso apoiar a tomada de decisões, buscando atrair novos doadores, assim como para fins de manutenção dos níveis de estoques, permitindo por meio das informações desta funcionalidade trabalhar campanhas e ações de coletas ambulatoriais voltadas para dadas regiões/bairros de uma cidade, dependendo do quantitativo de candidatos à doação nestas proximidades e as necessidades do hemocentro em questão. Através da página de mapa sanguíneo conforme apresenta a Figura 7, o usuário administrador se depara com um ambiente para a exibição no mapa, a partir das informações fornecidas (tipos sanguíneos, estado e cidade) para realização da

busca, a marcação das coordenadas de candidatos à doação de sangue cadastrado na aplicação que optaram em fornecer as informações de localização, referentes resultados relativos às informações.

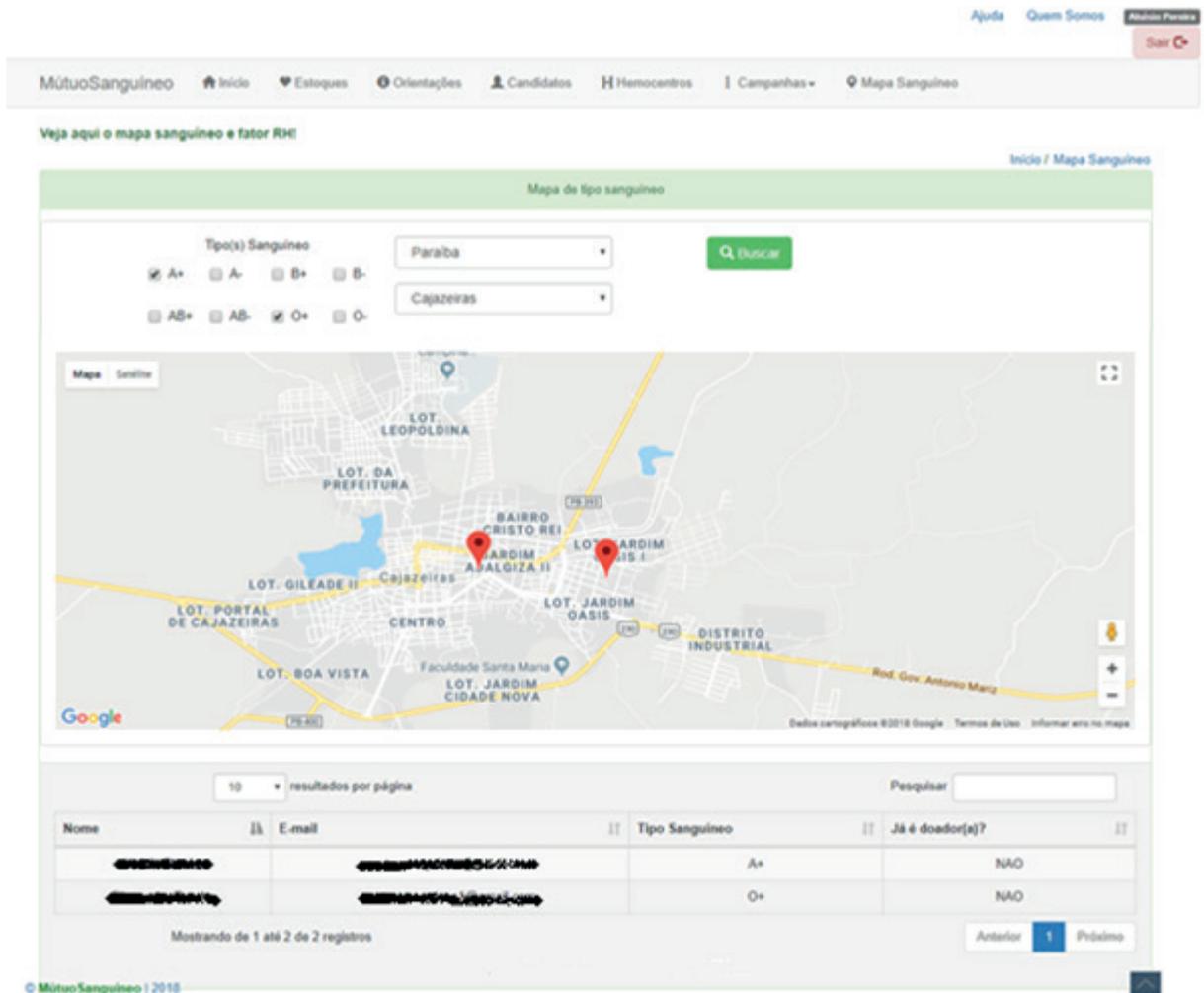


Figura 7 – Tela visualização do mapa por tipo sanguíneo

No decorrer do desenvolvimento do sistema foi realizado o lançamento e validação de oito versões, para análise juntos aos interessados no Hemonúcleo de Cajazeiras – PB, o qual obteve a confirmação e o posicionamento do(a) representante institucional em cada caso de “Excelente” para as implementações das funcionalidades conforme exemplifica e apresenta Figura 8. Sendo assim, possível contemplar a Versão 0.8 alcançando os objetivos inicialmente descritos para o desenvolvimento do sistema colaborativo deste estudo.

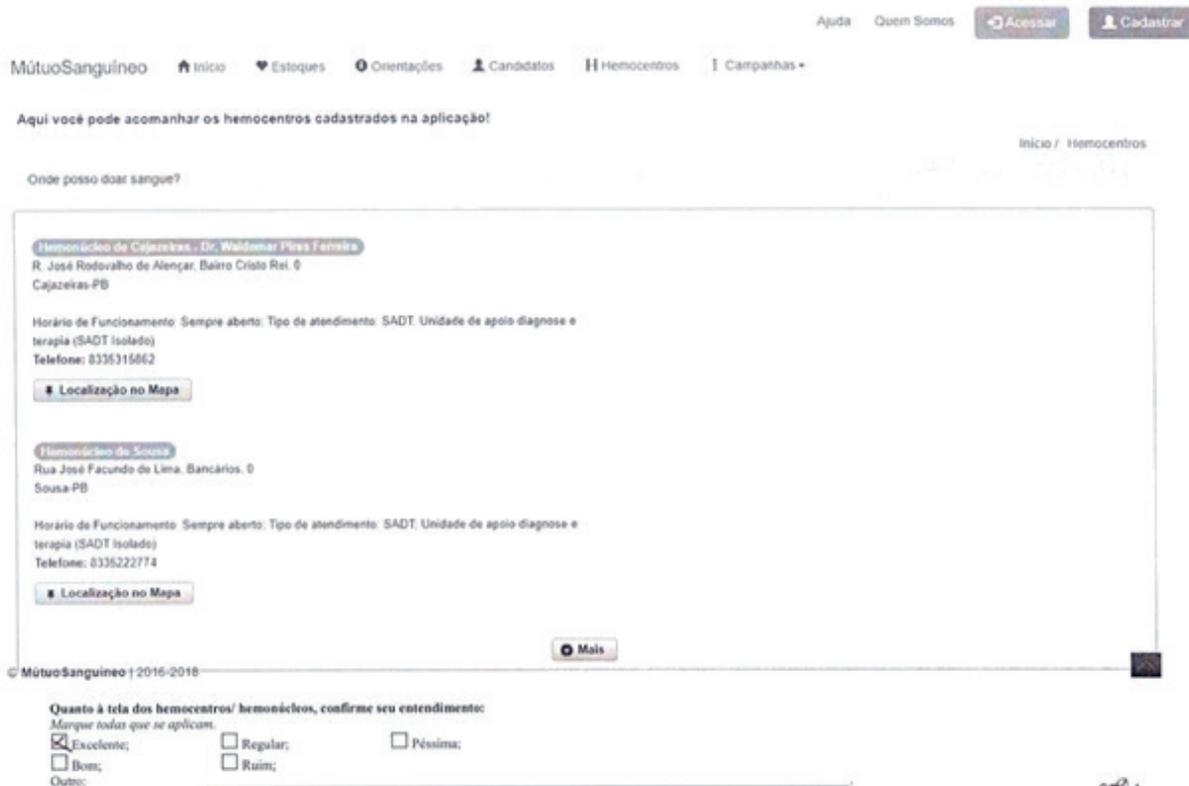


Figura 8 – Questionário de aceitação e posicionamento quanto à implementação para a tela das informações e localização dos hemocentro/hemonúcleo

Através da definição da região de Cajazeiras, Paraíba, Brasil como principal circunscrição para a realização deste estudo, foi possível também levantar ferramentas com propostas parecidas ao MútuoSanguíneo, encontrando os sistemas (S) que mais se assemelham, sendo eles:

S1 HemoLiga²;

S2 Doe Sangue PB³;

S3 Blog Hemonúcleo Cajazeiras⁴.

Adotando uma perspectiva qualitativa, os sistemas S1, S2 e S3 com propostas semelhantes serviram como base para ser realizado um estudo comparativo entre as funcionalidades contempladas por tais sistemas e destacar as peculiares ao sistema colaborativo desenvolvido neste trabalho conforme apresenta a Tabela 1.

2. <http://hemoliga.com.br>

3. <http://doesanguepb.com.br>

4. <http://hemonucleocajazeiras.blogspot.com.br>

FUNCIONALIDADES	S1	S2	S3	Mútuo Sanguíneo
Cadastro de candidatos	✓	✗	✗	✓
Cadastro de voluntários para participar de campanhas	✗	✓	✗	✗
Exibir requisitos e orientações para doação.	✓	✓	✓	✓
Exibir quantidade de cadastrados por tipo sanguíneo.	✗	✗	✗	✓
Gerar identificação de doador	✓	✗	✗	✗
Exibir informações de estoques do hemocentro.	✓	✗	✗	✓
Exibir informações de estoque por tipo sanguíneo.	✓	✗	✗	✓
Exibir locais de doação.	✓	✓	✓	✓
Exibir localização de hemocentro no mapa	✓	✗	✗	✓
Realizar pedido de doação de sangue.	✗	✓	✗	✓
Divulgação de campanhas de coleta de sangue.	✓	✓	✓	✓
Permitir gerar dúvidas, sugestões, reclamações.	✗	✓	✗	✗
Exibir mapa de tipos sanguíneo por cidade.	✗	✗	✗	✓

Tabela 1 – Comparação entre sistemas relacionados e o sistema deste estudo.

Legenda: S1 – HemoLiga; S2 – Doe Sangue PB; S3 – Blog Hemonúcleo Cajazeiras; ✓ – possui a funcionalidade; ✗ – não possui a funcionalidade.

Observando o comparativo da Tabela 1 é possível perceber que o MútuoSanguíneo (sistema desenvolvido neste trabalho) proporciona uma compatibilização entre funcionalidades mescladas pelos demais sistemas, assim como, apresenta funcionalidades peculiares como é o caso da exibição do mapa sanguíneo de candidatos a doação de sangue.

1 | CONCLUSÃO

O MútuoSanguíneo é uma iniciativa que visa facilitar a interação entre instituições coletoras de sangue, doadores e pacientes. Por meio das funcionalidades do sistema os envolvidos contribuem espontaneamente para disseminar as ações de apoio e incentivo à prática da doação de sangue.

Com a realização deste trabalho é possível entender que as práticas da Política Nacional de Promoção da Doação Voluntária de Sangue no Brasil podem ser apoiadas por abordagem como a resultante do presente estudo. Foi possível também adquirir, conhecer e entender que um processo de desenvolvimento de *software* que possibilita uma interação constante com os interessados no sistema produz tem como resultado uma melhor produtividade e aceitação, permitindo uma boa experiência na aplicação de metodologias ágeis para melhor organizar etapa do trabalho.

Na versão atual do sistema desenvolvido neste estudo, o mesmo já proporciona um ambiente que possibilita aos usuários realizar pedidos de doações de sangue para paciente específico, divulgar campanhas de abrangência geral, consultar informações dos locais para doação, se manter atualizado sobre os níveis de estoque

de sangue dos hemocentros e orientar-se sobre os procedimentos necessários para se tornar doador de sangue.

REFERÊNCIAS

BRASIL. **Ministério da Saúde. Apenas 1,8% dos brasileiros são doadores de sangue.** Governo do Brasil. 2017. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/saude/2017/06/apenas-1-8-dos-brasileiros-sao-doadores-de-sangue>>. Acesso em: 18 fev. 2018.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Manual de orientações para promoção da doação voluntária de sangue.** Secretaria de Atenção a Saúde. Departamento de Atenção Especializada e Temática. – 1. ed., 1. Reimpr. Brasília, 2015.

GUIMARÃES, J. **Ministério da Saúde gastou R\$ 532 milhões em publicidade nos últimos três anos.** Portal R7. 2016. Disponível em: <<https://noticias.r7.com/saude/ministerio-da-saude-gastou-r-532-milhoes-em-publicidade-nos-ultimos-tres-anos-19052016>>. Acesso em: 22 jan. 2018.

CAVALCANTI, L. **Ministério da Saúde lança campanha para incentivar doação de sangue.** Correio Brasiliense 2017. Disponível em: <http://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/brasil/2017/06/14/internas_polbraeco,602576/ministerio-da-saude-lanca-campanha-para-incentivar-doacao-de-sangue.shtml>. Acesso em: 21 fev. 2018.

MASSUCHETTO, Vinícius André. **Sistemas colaborativos de apoio à decisão:** uma proposta de combinação de metodologias para a geração de alternativas estratégicas. São Paulo: IPEN, 2015. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Autarquia associada à Universidade de São Paulo, 2015.

BORGES, Marcos Roberto da Silva. **Uma análise do desenvolvimento de Sistemas Colaborativos apoiado em Práticas Ágeis.** Rio de Janeiro: UFRJ, 2015. UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015.

RIOS, J. A.; REIS, L. R. dos; SOUZA, C. R. B de. **Comunidades de práticas baseadas na web:** um estudo de caso no programa profuncionário. Louro Feitas: IFBA, 2017. OBRA DIGITAL, Núm. 14, Febrero - agosto 2018, pp. 102-123, e-ISSN 2014-5039.

PRESSMAN, R. S; MAXIM, B. R. **Engenharia de software:** uma abordagem profissional. 8. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.

SCHWABER, K; SUTHERLAND, J. **Um guia definitivo para o Scrum:** As regras do jogo. Processo de Desenvolvimento de Software, 2013.

GUEDES, G. T. A. UML 2: uma abordagem prática. 2. ed. São Paulo: Novatec Editora, 2011.

BAPTISTELLA, A. J. **Abordando a arquitetura MVC e Design Patterns:** Observer, Composite, Strategy. 2015. Disponível em: <<http://www.linhadecodigo.com.br/artigo/2367/abordando-a-arquitetura-mvc-e-design-patterns-observer-composite-strategy.aspx>>. Acesso em: 16 jan. 2018.

ORACLE. Java Platform, Enterprise Edition. Release 7. September 2014. Disponível em: <<https://docs.oracle.com/javase/7/tutorial/title.htm>> Acesso em: 17 fev. 2018.

UMA PROPOSTA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE NÚMEROS DECIMAIS NO 5º ANO DO ENSINO FUNDAMENTAL

Cristiana Monique Feltes Sivert

Universidade Federal do Rio Grande

Rio Grande/RS

Cassiano Scott Puhl

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do

Sul

Porto Alegre/RS

Ensino. Estratégia didática. Realidade.

A DIDACTIC PROPOSAL FOR THE TEACHING OF DECIMAL NUMBERS IN THE 5TH ANNIVERSARY OF FUNDAMENTAL EDUCATION

RESUMO: Este artigo apresenta um relato de experiência sobre o ensino e aprendizagem dos números decimais no quinto ano do ensino fundamental. A estratégia didática foi desenvolvida com o objetivo de relacionar os números decimais com situações do cotidiano dos estudantes, como por exemplo: compras com a família, determinando o gasto total e o valor do troco na compra; bem como na leitura e adaptação de receitas, realizando conversões de unidades, cálculos de proporção e o custo total de uma receita. Essas situações fazem parte do cotidiano dos estudantes, assim as vivenciaram para posteriormente sistematizar o conhecimento que envolveu as operações e os conceitos dos números decimais. Desta forma, construiu-se uma proposta significativa para a aprendizagem dos números decimais que ressalta a realidade dos estudantes, facilitando a compreensão dos conceitos e das operações estudadas.

PALAVRAS-CHAVE: Números decimais.

ABSTRACT: This article presents an experience report on the teaching and learning of decimal numbers in the fifth year of elementary school. The didactic strategy was developed with the purpose of relating the decimal numbers to everyday situations of the students, such as: purchases with the family, determining the total expense and the value of the change in the purchase; as well as reading and adapting revenues, performing unit conversions, ratio calculations, and the total cost of a revenue. These situations are part of the daily life of the students, so they experienced them to later systematize the knowledge that involved the operations and the concepts of the decimal numbers. Thus, a significant proposal was developed for the learning of the decimal numbers that emphasizes the reality of the students, facilitating the understanding of the concepts and operations studied.

KEYWORDS: Decimal numbers. Teaching. Didactic strategy. Reality.

1 | INTRODUÇÃO

Muitas vezes as estratégias didáticas utilizadas nas aulas, principalmente nas de matemática, baseiam-se em explicação do conteúdo, resolução de exemplos e exercícios, no qual os estudantes não compreendem o seu significado e nem sua utilidade, definindo a matemática como um montado de fórmulas para serem decoradas (BÚRIGO et al., 2012). Ao utilizar esse tipo de estratégia, recorrentemente os professores são questionados pelos estudantes: “*Por que temos de aprender essas coisas?*”. Insatisfeitos com esse cenário, buscou-se um modo de desconstruir essa situação, abordando as operações e os conceitos matemáticos presentes em situações reais, principalmente daqueles que fazem parte da realidade do estudante.

Um dos conteúdos matemáticos que possuem grande indicativos de fazer parte da realidade dos estudantes é dos números decimais, pois estão presente nos preços de produtos, nas medições de distância e de massa, entre outros. Porém, Sá e Jucá (2006) alertam que, geralmente, o estudo dos números decimais inicia-se pelas frações decimais, não aproveitando os conhecimentos sociais adquiridos pela realidade que o estudante está inserido.

Desse modo, nesse artigo, busca-se superar essa perspectiva do ensino de números decimais sem privilegiar o conhecimento social do estudante, ou seja, a sua realidade e planejou-se uma estratégia didática para os estudantes do quinto ano. Para isto, os estudantes responderam um questionário, o qual foi possível verificar se fazia parte da realidade deles a ida ao supermercado para fazer compras com seus pais, para posteriormente aplicar a estratégia didática planejada. Assim, desenvolveu-se uma estratégia didática composta de três atividades com o objetivo de propor situações do cotidiano, que a maioria das crianças vivenciam, para que utilizem e operacionalizem com números decimais, buscando dar significado a esse tipo de número presente na realidade.

2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O ensino dos números decimais comumente ocorre a partir do quinto ano do ensino fundamental e seguido do estudo das frações. Em 2018 com a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), está previsto que a representação decimal para escrever valores do sistema monetário brasileiro seja introduzida no quarto ano; e as operações sejam realizadas no quinto ano (BRASIL, 2018). Geralmente, os estudantes apresentam algumas noções básicas de números decimais, pois já compraram objetos ou utilizaram a régua para fazer medições. Segundo Espinosa (2009, p. 25):

O conceito de número decimal, no Brasil, geralmente é estudado nas 4^a e 5^a séries; nas demais (6^a, 7^a e 8^a) este conteúdo está diluído nos conteúdos específicos das séries. (GRANDO; VIEIRA, 2006). Esse conteúdo de números decimais em geral é abordado no final do ano letivo, após o estudo de frações. Frações e números

decimais, em um primeiro momento são estudados de maneira isolada, e acredito ser isso uma das iniciais causas de dificuldades conceituais dos alunos.

Porém, nem sempre é aproveitado esse conhecimento prévio do estudante para avançar no estudo dos números decimais. Assim, o ensino dos números decimais também por muitas vezes é apresentado de forma teórica e sem associações com situações reais. Segundo Sá e Jucá (2006, p. 2) “[...] um dos fatores que dificulte a aprendizagem dos números decimais esteja relacionado à falta de uma metodologia adequada que permita ao aluno compreender o significado do que é um número decimal assim como operar com os mesmos”. Porém, o fator primordial para a dificuldade de compreensão está relacionado em não estabelecer relações entre os números decimais com situações reais, como é complementado por Sá e Jucá (2006, p. 2):

Ao iniciar o estudo dos decimais por meio das frações decimais, o professor segue apresentando o conteúdo sem fazer nenhuma referência a outro tópico ou a situações do cotidiano do aluno. O que resulta em esquecimento logo após as avaliações e dessa forma o aluno segue sem fazer nenhuma relação desse tópico com outro e sem compreender as operações por séries posteriores.

Além disto, outro fator possível, é o fato do docente não investigar ou compreender qual a interpretação que o estudante tem sobre os números decimais, como cita Brousseau (1983, apud Cunha, 2002, p. 42) concluiu que:

As aprendizagens dos decimais podem ser dificultadas em função dos obstáculos didáticos, resultantes da opção didática do professor. O professor precisa conhecer os modelos errôneos dos alunos, pois por meio da compreensão desses modelos poderá criar para o aluno situações significativas que possibilitem reflexões sobre o conhecimento antigo e condições para a construção de novos conhecimentos.

Na mesma perspectiva de Brousseau, a BNCC aborda que o ensino dos números precisa ser realizado “[...] por meio de situações significativas, sucessivas ampliações dos campos numéricos. No estudo desses campos numéricos, devem ser enfatizados registros, usos, significados e operações” (BRASIL, 2018, p. 266).

Nessa perspectiva, Ausubel (2003) define que para ocorrer uma aprendizagem significativa é necessário fazer uso dos conhecimentos prévios do estudante, para que o novo conhecimento se ancore com o qual ele já sabe. Essa teoria é conhecida como Teoria da Aprendizagem Significativa. Moreira (2011), interpretando Ausubel, afirma que o ponto mais importante no processo de aprendizagem é o conhecimento prévio do estudante.

Infelizmente, geralmente, a relação do conhecimento prévio e do novo conhecimento não ocorre na aprendizagem dos números decimais. Segundo Sá e Jucá (2006, p. 2), “[...] uma das dificuldades encontradas pelos alunos em compreender as regras das operações com os decimais, seja porque o mesmo não consiga relacioná-los ao seu cotidiano ou a algum conhecimento que ele já possua”.

Assim, organizou-se uma estratégia didática que relacione os conhecimentos

prévios dos estudantes com um novo conhecimento, compreendendo-o por meio de situações do cotidiano, como realização de compras e medições, conforme é sugerido por Ferreira (2014, p. 12): “Os números decimais estão muito presentes em nossas vidas, e os alunos já trazem para escola algum conhecimento adquirido na sua vida cotidiana, principalmente situações que envolvam o nosso sistema monetário”.

Desta forma, relacionado a vida cotidiana com os novos conhecimentos abordados em sala de aula, poderá facilitar o processo de aprendizagem para o estudante, pois utiliza noções básicas conhecidas, conhecimentos prévios, para ampliar a compreensão dessas noções. Segundo Ferreira (2014, p. 15):

“[...] aprender a vida cotidiana é construir por meios de encontros, atividades e observações, dificuldades e sucessos, um repertório de práticas. Então a vida cotidiana está ligada ao que aprendemos nas atividades do nosso dia a dia e ela se desenvolve através de situações e experiências vividas por cada indivíduo ao longo de sua vida, [...]”.

Este artigo traz um relato de ensino dos números decimais, a partir da vida cotidiana dos estudantes, baseado na aprendizagem significativa.

3 | RECONHECENDO A REALIDADE DOS ESTUDANTES

A proposta didática foi aplicada em uma turma de quinto ano, de uma escola privada, localizada no município de Feliz, no Rio Grande Sul, sendo composta por 15 estudantes. Com o objetivo de introduzir as operações com os números decimais de modo que os estudantes vivenciassem a importância destes números na sua realidade. Além do objetivo de desenvolver a aprendizagem de números decimais, espera-se alcançar outros objetivos específicos, como:

- Representar frações na forma decimal;
- Operar com números decimais;
- Associar os números decimais com situações cotidianas.

Buscando dados para verificar se a compra de mercadorias fazia parte da realidade dos estudantes, aplicou-se um questionário, antes de desenvolver a proposta didática. Esse questionário é composto por cinco perguntas:

1. Você costuma ir ao supermercado com sua família?
2. Ir ao supermercado e comprar algo faz parte da sua realidade?
3. Se frequenta o mercado, você geralmente compra algo? O que?
4. Você sabe quanto gasta nas compras?
5. Você sabe contar o dinheiro na hora de pagar algo?

As três primeiras perguntas referiam-se sobre a compra de mercadorias em supermercados, e se, essa situação fazia parte da realidade do estudante. Todos

os estudantes afirmaram que frequentemente fazem compras com seus pais, sendo que 73% sempre acompanham seus pais no supermercado e 27% às vezes. Esses dados revelam que os estudantes estão familiarizados com situações de compra e valores, e provavelmente saberiam fazer estimativas de alguns gastos, pois todos já compram no supermercado (Figura 1). Entre os produtos que são comprados pelos discentes, tem-se: lanches (73%), como salgadinho, biscoitos, entre outros; frutas (36%); e bebidas (27%) como refrigerante e suco.

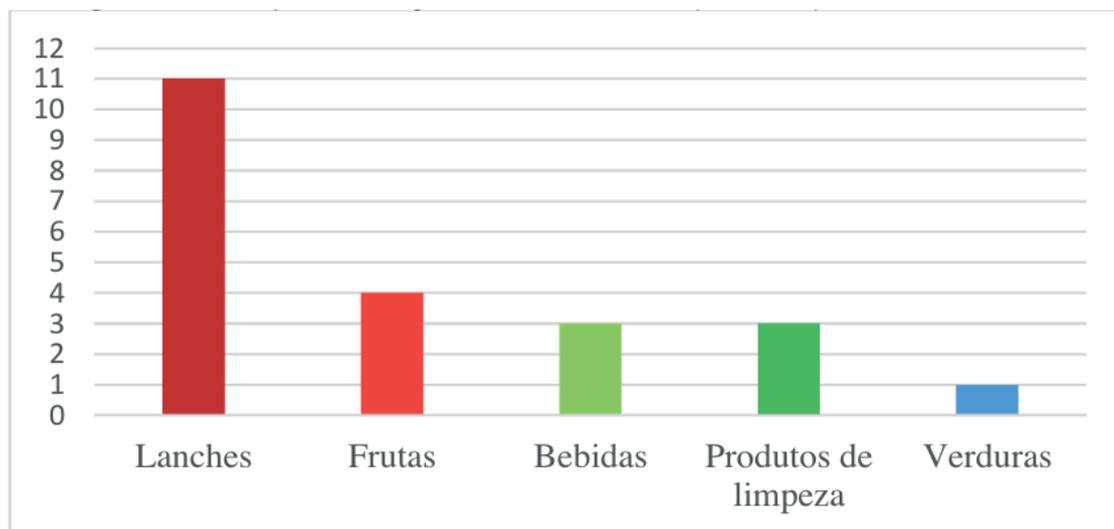


Figura 1 – Representação dos itens comprados pelos estudantes

Fonte: Registro dos autores.

Dando continuidade, as duas últimas perguntas referiam-se aos gastos no supermercado e o cálculo do troco a ser recebido. Nem todos os estudantes possuem a preocupação com seus gastos no supermercado, pois 27% afirmam que não sabem quanto gastam nas suas compras, já 73% reconhecem o valor gasto. Em compensação, todos os estudantes relatam que sabem contar o dinheiro para pagar algo, porém, 80% sabem lidar com qualquer valor, não necessariamente valores exatos, e 20% sabem lidar somente com valores exatos.

4 | PROPOSTA DIDÁTICA E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O A proposta didática a ser apresentada está dividida em três atividades: uma para realizar a conversão de números fracionários para decimais; outra para realizar operações com números decimais; e a última na confecção de um bolo. Em todas as atividades buscou-se incentivar a participação dos estudantes, que se envolvessem nas atividades para propiciar uma maior interação e conseqüentemente a compreensão dos conceitos estudados.

Inicialmente, organizou-se uma prateleira com vários produtos, tendo os preços num formato diferente do convencional, em forma de frações (Figura 2). O professor

buscando verificar alguns conhecimentos prévios dos estudantes, questionou-os: *De que forma pode-se determinar o valor de cada produto?* Os estudantes já haviam estudado a representação decimal de uma fração, e sem muitas dificuldades determinaram o preço de cada um dos produtos.

Dando continuidade, iniciou-se uma atividade em que se supôs que cada estudante tivesse R\$ 50,00 para fazer compras. No final da atividade deveriam apresentar uma nota fiscal que constaria os produtos comprados, seus respectivos valores, e o valor do troco da compra realizada. Desse modo, essa atividade tinha o propósito de mostrar a aplicação dos números decimais no cotidiano, como também, introduzir as operações de soma e de subtração de números decimais. Observa-se na Figura 2 que o caderno e o lápis estavam sempre presentes, para o registro dos cálculos.

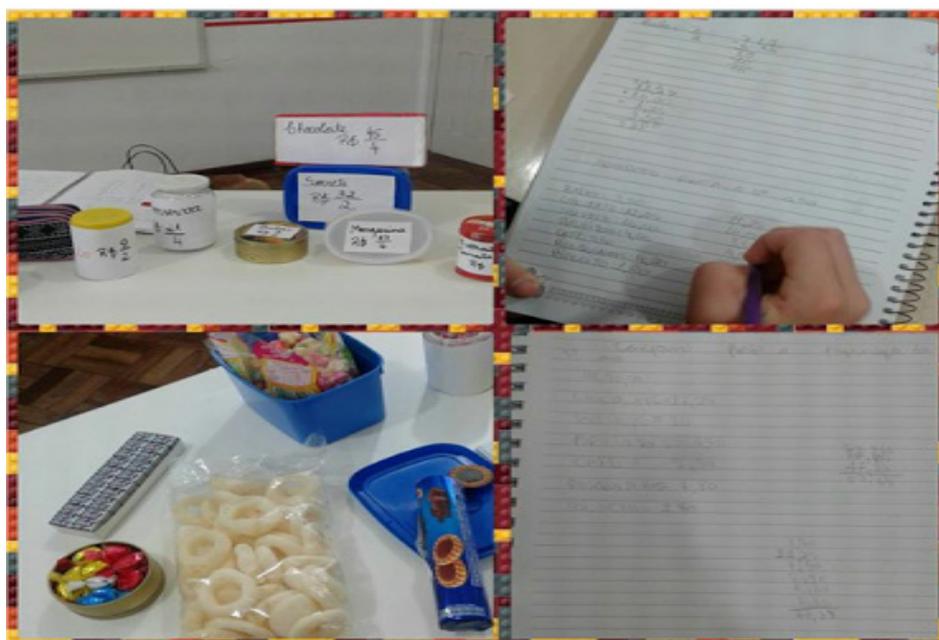


Figura 2 – Produtos com preços fracionários

Fonte: Registro dos autores.

Em seguida, os estudantes colocaram a mão na massa de verdade. O professor solicitou que cada estudante trouxesse de casa um valor não exato em dinheiro, como por exemplo R\$ 10,75, para a realização de compras em um supermercado.

Além de realizar as compras, os estudantes receberam uma ficha que correspondia a sua nota fiscal, registrando os itens comprados e o seu preço (Figura 3). Antes de pagar sua conta no caixa do supermercado, deveriam verificar quanto gastaram e determinar o valor que sobraria, sendo que no caixa saberiam se o cálculo realizado estaria correto.

Valor que trouxe:		
Produto	Quantidade	Preço
Total		
Calculando o troco:		
Troco		

Figura 3 – Modelo de nota fiscal do estudante

Fonte: Registro dos autores.

Nessa atividade, observa-se que os estudantes precisam fazer um cálculo aproximado inicialmente, não podendo comprar tudo o que desejam, pois não teriam dinheiro suficiente, assim antes de realizar o cálculo formal, realizaram cálculos mentais determinando um valor aproximado do que seria gasto. Sendo esse um dos objetivos citados na BNCC que afirma: “No tocante aos cálculos, espera-se que os alunos desenvolvam diferentes estratégias para a obtenção dos resultados, sobretudo por estimativa e cálculo mental, além de algoritmos e uso de calculadoras” (BRASIL, 2018, p. 266).

A atividade foi bem interessante, pois muitos estudantes nunca haviam comprado produtos sozinhos. A alegria e a satisfação pela atividade eram perceptíveis no olhar deles, principalmente, quando acertavam o cálculo do valor gasto e do seu troco (Figura 4).



Figura 4 – Estudantes fazendo compras

Fonte: Registro dos autores.

Os estudantes vivenciaram uma situação que enfrentarão cotidianamente, na compra de um produto ou no pagamento de uma conta. De forma geral, promover

uma atividade fora da sala de aula, no contexto urbano foi interessante para a vivência e aprendizagem dos estudantes.

Durante as compras no supermercado, os estudantes também deveriam pesquisar o preço de alguns ingredientes específicos para a produção de um bolo, sendo essa a terceira atividade proposta. Para isso, os estudantes receberam uma lista orientada com os ingredientes utilizados numa receita de bolo, em que deveriam preencher a lista com as quantidades necessárias para fazer a receita e seus respectivos preços (Figura 5).

Ingredientes:	Quantidade	Preço
4 ovos		
4 colheres de sopa de chocolate em pó		
2 colheres de sopa de manteiga		
3 xícaras de farinha de trigo		
2 xícaras de açúcar		
2 colheres de fermento		
1 xícara de leite		
1 leite condensado		
Total	-----	

Figura 5 – Lista dos ingredientes

Fonte: Registro dos autores.

Após o preenchimento dessas informações, os estudantes calcularam o valor total gasto com os produtos para fazer a receita. Porém, um bolo não seria suficiente para que toda a turma se degusta um pedaço. Deste modo, sugeriu-se a produção de dois bolos, os estudantes perceberam que deveriam multiplicar a quantidade de ingredientes por dois, e depois dividir o gasto total por pelo número de estudantes da turma, para determinar o valor gasto por estudante. Desse modo introduziu-se a multiplicação e a divisão de números decimais.

Dando continuidade, organizou-se a compra dos ingredientes e produziu-se o bolo (Figura 6). Além da produção do bolo, nessa aula conversou-se sobre os números decimais nas unidades de medida, e realizaram-se algumas conversões, como: 500 gramas equivalem a 0,5 quilogramas.

Ao concluir o bolo verificou-se que com exceção dos ovos e do fermento que poder-se-ia fazer mais que um bolo, ou seja, dois bolos com a quantidade de ingredientes que foram comprados, e assim o custo do bolo seria menor do que o calculado inicialmente. Para confraternizar e encerrar a estratégia didática, os estudantes saborearam o bolo.



Figura 6 – Estudantes confeccionando o bolo

Fonte: Registro dos autores.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento da estratégia didática trouxe uma forma dinâmica de desenvolver a aprendizagem, envolvendo prática, cotidiano e sabor. Muitos dos estudantes nunca tinham participado da produção de um bolo, sendo essa uma experiência que ficará marcada na memória deles. A proposta foi bastante gratificante, pois além de motivar a aprendizagem dos conceitos e operações com decimais, os estudantes puderam ampliar sua visão de mundo e compreender a importância dos números decimais no seu dia-a-dia.

Os objetivos propostos foram alcançados, pois a maioria dos estudantes efetuou corretamente os cálculos com os números decimais, sem ser apresentado a teoria inicialmente, bem como relacionou uma situação cotidiana com o cálculo, mostrando um forte indicio da realização uma aprendizagem com significado. Por fim, espera-se que esta estratégia didática possa ser adaptada e desenvolvida por outros educadores para que difundir práticas eficazes para a aprendizagem de números decimais.

REFERÊNCIAS

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e retenção de conhecimento**: uma perspectiva cognitiva. Lisboa: Paralelo, 2003.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**: Educar é a base. Brasília: MEC, 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_20dez_site.pdf>. Acesso em: 07 jan. 2019.

BÚRIGO, E. Z. et al. **A matemática na escola**: novos conteúdos, novas abordagens. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2012.

CUNHA, M. R. K. **A Quebra da Unidade e o Número Decimal**. 2002. 162 f. Dissertação (Mestrado em Educação Matemática) - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2002. Disponível em: <<https://tede2.pucsp.br/handle/handle/11140>>. Acesso em: 15 nov. 2017.

ESPINOSA, C. E. **Números Decimais**: Dificuldades e propostas para o ensino e o aprendizado de alunos de 5^a e 6^a séries. Porto Alegre: UFRGS. 2009.

FERREIRA, L. S. **A importância do uso dos números decimais na vida cotidiana**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Matemática) – Universidade Estadual da Paraíba, 2014. Disponível em: <<http://dspace.bc.uepb.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/6736/PDF%20%20Lucilene%20dos%20Santos%20Ferreira.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> . Acesso em: 15 nov. 2017.

MOREIRA, M. A. **Teorias de aprendizagem**. 2. ed. ampl. São Paulo: EPU, 2011.

SÁ, P. F.; JUCÁ, R. S. O ensino dos números decimais por meio de atividades. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO MATEMÁTICA, 2006, Recife. **Anais do SIPEMAT...** Recife, 2006. Disponível em: <<http://www.lematec.net.br/CDS/SIPEMAT06/artigos/sajuca.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2017.

ESTUDO DA VIABILIDADE NO DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA COMPUTACIONAL DE BAIXO CUSTO PARA MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM CULTIVOS DE ORGANISMOS AQUÁTICOS: APLICAÇÃO INICIAL EM VIVEIROS ESCAVADOS

Wilmar Borges Leal Junior

Fabiano Medeiros Tavares

Ítalo Cordeiro Silva Lima

Delfim Dias Bonfim

Lucyano Campos Martins

Nailson Martins Dantas Landim

Haryson Huan Arruda da Silva Santos

Douglas Ferreira Chaves

RESUMO: o processo de automação tem mobilizado diferentes setores com objetivo de fornecer conforto, economia, segurança e maior produtividade para o empreendimento. Na piscicultura a automação é uma saída para minimizar e/ou otimizar alguns pontos-chaves para o sucesso do negócio, tais como, o monitoramento em tempo real da qualidade da água e sua intervenção quando os mesmos encontram-se alterados, bem como a sua interface com outras práticas de manejo produtivo. O monitoramento da qualidade da água se dá através da verificação de alguns parâmetros químicos e físicos, exigindo pessoas qualificadas para mensuração e interpretação desses parâmetros a fim de proporcionar uma boa qualidade de água necessária para o bom desempenho produtivo da espécie a ser cultivada. Neste contexto, o presente projeto tem por objetivo analisar a viabilidade da implementação de um sistema

computacional, de baixo custo, que permita monitorar as propriedades físicas e químicas da água em cultivos de organismos aquáticos. Levando em consideração a existência de uma grande variedade de tecnologias disponíveis no mercado e que podem ser utilizadas em conjunto, esse trabalho visa estudar o paradigma da automação e sua utilização na área da piscicultura, fazendo o uso de tecnologias existentes com controladores Arduino, *Raspberry pi* e sensores. E por fim, pretende-se analisar a viabilidade financeira em se desenvolver um sistema computacional para monitorar os parâmetros físicos e químicos da água, em cultivos de organismos aquáticos, tendo como aplicação inicial viveiros escavados, a fim de subsidiar piscicultores e em consequente futuras tomadas de decisões em processos licitatórios do *campus* Dianópolis nas áreas de Informática e Agropecuária.

PALAVRAS-CHAVE: Automação, Computação, Piscicultura, Arduino.

1 | INTRODUÇÃO

O *website* conceito tecnologia define bem “o que é Automação”. Automação pode ser definida como um conjunto de técnicas que, aplicadas a um processo tem por objetivo torna-lo mais eficiente, maximizando assim

sua produção, diminuindo o consumo de energia e tempo, diminuindo a emissão de resíduos e melhorando as condições de segurança que são inerentes ao processo. Vale ressaltar que a o processo de automação se dá em duas correntes básicas, utilizando-se *softwares* automáticos para execução de uma determinada tarefa, ou, apenas *hardware*, sem utilização de *software*, puramente mecânico, exemplo: bomba carneiro, temos também de forma eletromecânica. Exemplo: bomba vibratória e a combinação dos dois modos, *hardware e software*, com isso, implantando um sistema inteligente, capaz reprogramar, readaptar ou até mesmo evoluir dependendo do paradigma de fabricação utilizado.

A evolução da informática nos levou a miniaturização do *hardware* e consequentemente seu baixo custo, com isso viabilizando sua aquisição e da sua combinação para o desenvolvimento de controle e automação dos processos, proporcionando aos seus utilizadores no meio agrícola uma autonomia, em se tratando de rotina, antes não imaginado, que, pode ser usado de forma adaptativa em diversos processos de produção da piscicultura, com mudanças mínimas e com pouco impacto no custo e um grande impacto no benefício. A pesquisa em tela visa, de forma exploratória, apresentar a viabilidade de custo de produção de um sistema automático e escalável para monitoramento da água, inicialmente o estudo versa sobre sua aplicabilidade em viveiros escavados, utilizando técnicas de modulação, tornando-o expansível e adaptativo as necessidades do piscicultor. Além disso, torna-se um conjunto de soluções para situações cotidianas promovendo benefícios diretamente ligados à produção e maior desempenho das atividades dos produtores.

A automação deve avançar pela agropecuária como forma de assegurar o aumento de produção e produtividade no Brasil e ainda manter e estimular o crescimento das indústrias de máquinas e equipamentos agropecuários. Ressalta-se que é cada vez maior o interesse de empresas multinacionais nas oportunidades crescentes do agronegócio brasileiro o investimento em automação. Assim, para se manter a competitividade, será cada vez mais importante que as indústrias de máquinas e equipamentos brasileiras gerem inovações que possam melhorar o desempenho da atividade e ampliar a gama de atividades atendidas. Uma boa estratégia para alcançar esse objetivo é a ampliação de parcerias entre as indústrias e as instituições de pesquisas públicas e privadas com fomento em pesquisas.

Com isso, a Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) vem atuando e se consolidando como usuários e desenvolvedora de métodos e equipamentos automatizados. Exemplo disso é a agenda de trabalho da Embrapa Instrumentação (São Carlos, SP), criada em 1984, e que inaugurou em 20 de setembro, o Laboratório de Referência Nacional em Agricultura de Precisão (Lanapre), preparado para constituir novas e estratégicas parcerias com empresas públicas e privadas. De fato o Lanapre foi inaugurado já no formato de unidade mista de pesquisa em parceria com a Universidade de São Paulo (USP) e Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Além de redes de pesquisas em andamento,

ligadas à temática, a Embrapa está também implementando um Portfólio de PD&I (Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação) em Automação Agrícola, Pecuária e Florestal. (Inamasu *et al.*, 2016)

Com objetivo de desenvolver um produto de qualidade usando a tecnologia aplicada à agropecuária, o presente trabalho dispõe-se, inicialmente, estudar a viabilidade da criação de um sistema computacional capaz de coletar informações sobre os parâmetros químicos e físicos da água em viveiros escavados e, em seguida, enviar para um banco de dados, permitindo assim um monitoramento da qualidade da água em tempo real, permitindo a obtenção de análise no decorrer do tempo, gerando histórico de alterações físico químicas do ambiente analisado.

2 | REFERENCIAL TEÓRICO

Diversas áreas têm apontado os benefícios que a tecnologia vem trazendo, em sua generalidade, para a sociedade, grandes benefícios em termos de automação, informação e conhecimento. Já em relação as empresas, as tecnologias significam maior produtividade e ganho de competitividade o avanço tecnológico, principalmente no campo da ciência da computação e informação está apoiado sobre um corpo de desenvolvimento de *softwares* inteligentes. A inovação tecnológica tornou-se um indicador de extrema relevância para crescimento substancial da agricultura, trabalhando de forma interdisciplinar e utilizando a tecnologia como ferramenta de auxílio nas resoluções de problemas reais, podemos ter uma melhor eficiência e produtividade do objeto pesquisado.

2.1 Arduino

Escolhemos a plataforma Arduino UNO, como micro controlador, primeiramente por trabalhar com software livre e ser relativamente barata e escalável, diminuindo sobremaneira os custos do projeto, podendo agrupar vários sensores para monitoramento automático, McRoberts, (2011), define o Arduino como:

[...] um pequeno computador que você pode programar para processar entradas e saídas entre o dispositivo e os componentes externos conectados a ele (Figura 1). O Arduino é o que chamamos de plataforma de computação física ou embarcada, ou seja, um sistema que pode interagir com seu ambiente por meio de hardware e software. (McRoberts, 2011, p. 23)

É importante ressaltar que com a larga difusão dessa tecnologia e consequentemente seu baixo custo, várias áreas de pesquisa como a engenharia, medicina, industrias em geral e em especial no campo agrícola, ela poderá ser perfeitamente empregada, aumentando assim a produtividade e diminuindo os erros na coleta e posteriormente análise dos dados, se comparado ao meio usual, coleta manual *in loco*.

2.2 Sistemas Computacionais

A pesquisa em tela tem como suporte sistemas computacionais em rede, que podem fornecer ao piscicultor uma gama de informações em tempo real e em qualquer lugar, permitindo utilizar plataformas livres ou comerciais. Por sistema computacional, Reisswitz, (2012), define como um conjunto de dispositivos eletrônicos (*hardware*) capazes de processar informações de acordo com um programa (*software*). O *software* mais importante é o sistema operacional, ele fornece as bases para a execução das aplicações, às quais o usuário deseja executar, a escolha do conjunto, *hardware* e *software* é que determina o custo, nosso trabalho tem como base a utilização de *software* livre, baseado em linux, diminuindo assim, os custos do projeto, dessa forma o autor define *hardware* como:

O *hardware* corresponde às partes eletrônicas e mecânicas, que possibilitam a existência do software, o armazenamento de informações e a interação com o usuário. A CPU, (Unidade Central de Processamento) as memórias primária e secundária, os periféricos, os componentes de redes de computadores, são exemplos de elementos de hardware. (Reisswitz, 2012, p. 51)

Assim, um sistema automatizado pode possibilitar a existência de diversos sistemas e um sistema pode requisitar diversos computadores ou tarefas a serem processadas, gerando uma gama de dados que poderão ser refinadas, agrupadas e analisadas com técnicas de mineração de dados, tema esse para trabalhos futuros, já o *software* é definido pela autora como:

O *software* é a parte abstrata do sistema computacional que funciona num hardware a partir de instruções codificadas numa linguagem de programação. Estas instruções permitem o processamento e armazenamento de informações na forma de dados codificados e podem ser controladas pelo usuário. Este controle, bem como a troca de informações entre o usuário e o sistema é feita através da interface de usuário, composta por hardware e software. . (Reisswitz, 2012, p. 51)

Sendo o *software* a parte lógica, abstrata de um sistema computacional e combinado com sensores, poderão ser aplicados em um mesmo sistema computacional, para coleta de informações em tempo real, como temperatura da água em qualquer ponto do viveiro, níveis de pH, Nitrito, Alcalinidade dentre outros, assim, o sistema tornar-se escalável de acordo com a necessidade do piscicultor, ou seja, pode ser utilizado um ou vários sensores no mesmo sistema computacional a medida que forem necessárias para monitoramento do ambiente.

3 | METODOLOGIA/MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia é pautada em uma pesquisa exploratória, pois busca um detalhamento da viabilidade técnica e financeira do protótipo a ser utilizado. Gil, (2002), define essa pesquisa como:

Estas pesquisas têm como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a constituir hipóteses. Pode-se dizer que estas pesquisas têm como objetivo principal o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições. Seu planejamento é, portanto, bastante flexível, de modo que possibilite a consideração dos mais variados aspectos relativos ao fato estudado. (Gil, 2002, p. 41).

Nesse sentido, utiliza-se a pesquisa exploratória quando se há pouco conhecimento sobre a temática a ser abordada. Sendo a área de piscicultura a delimitação da pesquisa, e por meio desse estudo, busca-se conhecer com profundidade o tema. Nas palavras de (Raupp e Beuren, 2006, p. 80), uma das características da pesquisa exploratória consiste no aprofundamento dos conceitos preliminares sobre determinada temática não contemplada de modo satisfatório anteriormente.

Esclarecido o método utilizado na pesquisa e após um melhor entendimento da necessidade para resolução do problema proposto. Inicialmente fizemos uma revisão teórica dos conceitos envolvidos, tanto os relativos a automação e controle quanto a piscicultura em seus aspectos químicos físicos para melhor entendimento da equipe de tecnologia envolvida. Em seguida realizamos reuniões com os professores da área das ciências agrárias, com objetivo de fazer coleta de informações necessárias para modelar um sistema automatizado para a piscicultura, com isso, fizemos o levantamento do *hardware e software* necessários para a criação do protótipo, definindo assim quais equipamentos mínimos são necessários para montagem de um sistema automatizado e de baixo custo.

Findo o processo de reconhecimento do objeto pesquisado, realizamos uma pesquisa de preço em sites e catálogos de empresas de informática para verificar qual possui o valor mais viável economicamente para o fim proposto, e por fim finalizamos com o relatório final das atividades.

Utilizamos como parâmetros iniciais, os trabalhos de, (Santos, dos *et al.*, 2018) que traz em seu bojo, o monitoramento dos níveis ideais de qualidade de água para redução de perdas onde, busca-se desenvolver um sistema de análise automática da água para a aquicultura utilizando a plataforma Arduino Mega com sensores de temperatura, pH, amônia, dentre outros.

Assim, em consonância com o trabalho de Huet (1978), *apud* (Gomes *et al.*, 2015, p. 2), o que é determinante num modelo aquícola e o melhor sistema de cultivo a ser implantado é a quantidade e qualidade da água e ao final, após estudos e visitas em campo, podemos compreender melhor as o processo e a real necessidades de automação, finalizando com o levantamento descritiva do *hardware e software* e a ser utilizado na montagem do protótipo.

Por fim, como a proposta é de cunho interdisciplinar, os resultados coletados e parâmetros para medição de qualidade da água para o cultivo de peixes, será acompanhado por um especialista da área.

3.1 Material a ser utilizado no protótipo inicial para teses

A metodologia aplicada nessa pesquisa é de cunho exploratório pautada em uma rígida revisão bibliográfica, relevante ao tema proposto e com vistas a implementação futura de um protótipo para testes. A proposta do estudo é demonstrar que é possível ter um controle mais eficaz e de baixo custo com automação, ou seja, pode-se obter a qualquer tempo relatórios do estado físico-químico da água de acordo com parâmetros convencionados para a produção. Abaixo é mostrado alguns equipamentos necessários para montagem do protótipo para testes em viveiro real.

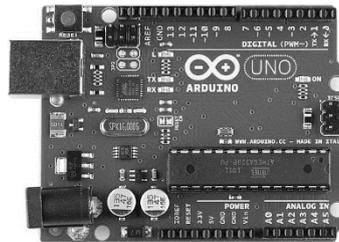


Figura 1: Arduino UNO SMD. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUnoSMD>. Acessado em: 07 de julho de 2018.

O Arduino Uno, Figura 1, é uma plataforma de prototipagem eletrônica que opera sob *software* livre. Sua interface permiti-nos operar uma variedade de sensores, tanto digitais quanto analógicos.

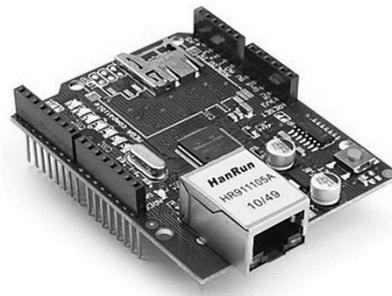


Figura 2: Modulo *ethernet shield* W5100 para Arduino. Disponível em: <https://www.moduloeletronica.com.br> Acessado em: 07 de julho de 2018.

Modulo *Ethernet Shield*, Figura 2, permite que a placa Arduino conecte-se à internet, fornece acesso a rede IP (*Internet Protocol*), nos protocolos TCP (*Transmission Control Protocol*) e UDP (*User Datagram Protocol*).

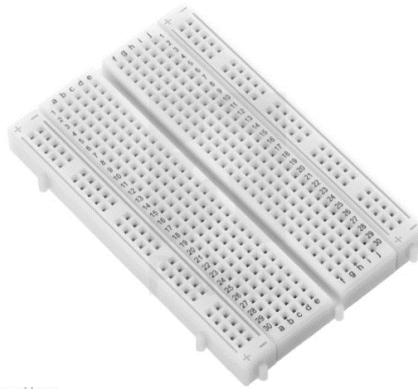


Figura 3: Protoboard. Disponível em: <https://www.pololu.com/product/351>. Acessado em: 07 de julho de 2018.

A *Protoboard*, Figura 3, é uma importante ferramenta para modelagem inicial do sistema, podendo ser reconfigurada conforme a necessidade e à medida que o projeto avança, nela, é possível montar dezenas de circuitos sem a necessidade da realização de solda



Figura 4: Sensor de temperatura. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/blog/sensor-de-temperatura-ds18b20-arduino/>. Acessado em: 07 de julho de 2018.

Na Figura 4, temos o sensor de temperatura, que ficará submerso coletando em tempo real a temperatura da água, com precisão de: $\pm 0,5$ °C entre -10 °C e +85 °C, busca-se monitorar o aspecto físico da água.



Figura 5: Módulo Sensor de Ph. Disponível em: <http://cdtecnologia.net/sensores/260-sensor-de-ph-arduino.html>, Acessado em: 07 de julho de 2018.

Na Figura 5, temos o modulo sensor de Ph de líquidos, garantindo assim o

monitoramento em tempo real do ambiente, podendo ser implementado para alerta ou até mesmo procedimentos automáticos de correção.



Figura 6: Sensor de Turbidez. Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/outros-sensores-arduino/sensor-de-turbidez-arduino-para-monitoramento-da-agua-4539.html>. Acessado em: 07 de julho de 2018.

Temos na figura 6, o sensor de turbidez, modulo eletrônico de monitoramento para atuar com os micro controladores Arduino e outros. Capaz de detectar partículas que estejam em suspensão na água, fazendo a medição da transmitância da luz e da taxa de dispersão, a qual, muda de acordo com a quantidade de total de sólido suspenso.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

No decorrer do trabalho foram demonstradas as características de um sistema computacional para monitoramento de peixes em viveiro escavado. Por ser um sistema modular, pode-se adaptar vários sensores de monitoramento. A plataforma escolhida, Arduino UNO, tem suporte a vários sensores como: sensor de Monitoramento de Fluoreto, Nitrato, Oxigênio dissolvido, Clorofila, Condutividade Elétrica, Efluentes, dentre outros, dentre os quais já citados aqui, fica claro a utilidade do mesmo no campo agrícola. Nesse sentido, objetiva-se aqui mostrar o potencial uso do sistema para monitoramento físico-químico automático e modular. Abaixo, colocamos uma tabela de preços com valores médios encontrados no mercado para iniciar a confecção do protótipo do projeto, podendo ser modularizado de acordo com a necessidade e a precisão do monitoramento.

Dispositivo	Quantidade	Valor (R\$)	Total (R\$)
Placa Arduino UNO	1	50,00	50,00
Jumper Macho - Fêmea, fios Arduino para Protoboard (20cm)	40	0,40	16,00
Sensor de Temperatura a prova d'água	1	25,00	25,00
Protoboard 830 furos	1	16,40	16,40
Ethernet Shield W5100	1	40,00	40,00
Sensor de Ph + Eletro Sonda Bnc	1	160,00	160,00
Sensor de Turbidez	1	233,00	233,00
TOTAL			540,40

Tabela 1: Orçamento inicial com valores médios. Dispositivo a ser utilizado ao projeto (Dispositivo), Quantidade necessária para o projeto piloto (Quantidade), Valor unitário médio encontrado no mercado, em moeda corrente (Valor), Quantidade multiplicado pelo valor unitário (Total). Orçamento realizado entre julho a agosto de 2018.

Fonte: do autor.

Nota-se na tabela 1, um custo relativamente baixo, se compararmos a sistemas já prontos vendidos no mercado. Como projeto piloto, para o estudo em tela, foram orçados apenas os sensores básicos como mostrado na tabela 1 a cima, segundo reunião com profissionais da área, são os sensores básicos para o monitoramento. Ressalto novamente que a proposta é termos um sistema expansível, podendo ser acoplado e programando mais sensores ao módulo quando necessitar. Quanto ao software, não há dispêndio orçamentário, visto que, usaremos *software* livre.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa exploratória desenvolvida mostrou condições favoráveis para a criação de um sistema computacional inovador, escalável e de baixo custo. A autonomia é ponto principal para criação do sistema, permitindo aos pesquisadores o melhor entendimento do objeto a ser pesquisado. A piscicultura exige uma constante dedicação, utilizando-se técnicas que necessitam de um deslocamento para coleta de informações, hoje, o pequeno ou o grande piscicultor pode ter essas mesmas informações em tempo real e em qualquer lugar, facilitando seu trabalho cotidiano para uma melhor gerenciamento e tomada de decisão.

Como trabalhos futuros, pretende-se desenvolver um sistema computacional automatizado para coleta de dados em viveiros de peixes, com a finalidade de otimizar o processo de coleta de informações físico químicas do ambiente, destaca-se ainda que o presente trabalho, através de sua metodologia, proporcionou um maior entendimento e conseqüentemente um maior aprendizado em relação ao tema proposto, além de vislumbrar uma potencial solução a um baixo custo para produtores de peixe em viveiros escavados.

REFERÊNCIAS

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GOMES, N. A.; SIQUARA, L. L.; SANTOS, P. B. DOS; FREITAS, R. R. DE; OTHERS. CONTROLE E MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA NO CULTIVO DE MICROALGAS ATRAVÉS DE SENSORES. **Brazilian Journal of Production Engineering-BJPE**, v. 1, n. 1, p. 1–4, 2015.

INAMASU, R. Y.; BELLOTE, A. F. J. B.; JUNIOR, A. L.; SHIRATSUCHI, L. S.; OLIVEIRA, P. A. V. DE; BERNARDI, A. C. DE C. **Portifólio automação agrícola, pecuária e florestal** Embrapa, , 2016. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1057988/1/DOC6020161.pdf>>. Acesso em: 7 jul. 2017

MCROBERTS, M. **Arduino Básico**. Tradução Rafael Zanolli. São Paulo: Novate, 2011.

O que é automação? O controle e a otimização de recursos. Disponível em: <<http://www.conceitotecnologia.com.br/automacao-oque.asp>>. Acesso em: 15 jan. 2015.

RAUPP, F. M.; BEUREN, I. M. Metodologia da Pesquisa Aplicável às Ciências. _____ **Como elaborar trabalhos monográficos em contabilidade: teoria e prática**. São Paulo: Atlas, 2006.

REISSWITZ, F. **Análise de Sistemas Vol. 2: Tecnologia Web & Redes**. São Paulo, Clube de Autores, 2012.

SANTOS, M. V. B. DOS; DOMICIANO, C. A. R.; GUIA ROCHA, F. DA; LIMA, C. J. B. DE; JESUS, L. A. DE; MOURA, J. R. F. Desenvolvimento de Sistema Automático de Análise de pH e Temperatura da Água para Aquicultura. **Anais do Computer on the Beach**, p. 325–333, 2018.

REGRESSÃO POLINOMIAL E REDES NEURAIS ARTIFICIAIS NA AVALIAÇÃO DE IMÓVEIS

Carlos Augusto Zilli

Universidade Federal de Santa Catarina
Tubarão - Santa Catarina

Luiz Fernando Palin Droubi

Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis - Santa Catarina

Norberto Hochheim

Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis - Santa Catarina

RESUMO: A NBR 14.653-2 prevê o uso de diferentes metodologias para avaliação de um imóvel. Dentre elas, destaca-se o uso de regressão linear e, alternativamente, o uso de redes neurais artificiais. A regressão linear é um método científico bastante difundido entre os engenheiros avaliadores, enquanto a utilização de redes neurais apresenta aplicação limitada, pois, apesar do seu desempenho extraordinário, ainda não está completamente explícito o que ocorre durante a aprendizagem de uma rede neural e porque elas funcionam. Uma alternativa aos modelos de redes neurais artificiais é a modelagem através de regressão polinomial, que nada mais é que um modelo de regressão linear em que são adicionados os termos quadráticos, cúbicos etc, assim como os termos de todas as possíveis interações entre as variáveis. Nesse estudo procura-se fazer

um comparativo acerca da precisão obtida por modelos de regressão polinomial e por redes neurais artificiais em dados imobiliários. Essa precisão é aferida através do cálculo da raiz do erro médio quadrático - RMSE para as duas modelagens. Os resultados obtidos convergem para aqueles obtidos por Matloff *et al.* (2018) em seu artigo “*polynomial regression as an alternative to neural nets*”, que pondera que as redes neurais artificiais, quando utilizadas funções de ativação lineares, são modelos de regressão polinomial em que o grau do polinômio aumenta a medida que aumenta o número de camadas ocultas da rede neural. Constatou-se, ainda, que o RMSE da regressão polinomial foi menor e com menor dispersão que o da respectiva rede neural artificial.

PALAVRAS-CHAVE: Regressão Polinomial, Redes Neurais, Imóveis.

POLYNOMIAL REGRESSION AND ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS IN EVALUATION REAL ESTATE

ABSTRACT: NBR 14.653-2 provides the use of different approaches to evaluate a property. Among them, the use of linear regression appears as an important one and, alternatively, the use of artificial neural networks. Linear regression is a widely used scientific approach

among evaluation engineers, while the use of neural networks has limited application, because despite its extraordinary performance, it is not fully understood what happens during the learning of a neural network yet, and why they work. An alternative to artificial neural network models is polynomial regression modeling, which is nothing more than a linear regression model in which quadratic, cubic, and other terms are added, as well as the terms of all possible interactions between the variables. In this study we try to compare the precision obtained by polynomial regression models and by artificial neural networks in real estate data. This precision is measured by calculating the *root-mean-square error* - RMSE for the two models. The results obtained converge to those obtained by Matloff et al. (2018) in his article “polynomial regression as an alternative to neural nets”, which argues that artificial neural networks, when using linear activation functions, are nothing more than polynomial regression models in which the degree of the polynomial increases the measure which increases the number of hidden layers of the neural network. It was also observed that the RMSE of the polynomial regression was smaller and with less dispersion than the respective artificial neural network.

KEYWORDS: Polynomial Regression, Neural Networks, Real Estate.

1 | INTRODUÇÃO

Entre os métodos utilizados para a avaliação de imóveis previstos na NBR 14.653-2 (2011), o mais comum é o método comparativo direto de dados de mercado, utilizando técnicas de regressão que, além de apresentar uma ótima estimativa dos valores econômicos dos bens envolvidos, oferecem também qualidade e transparência ao processo avaliativo do bem.

A metodologia científica, aplicando os conhecimentos de regressão polinomial, é bastante difundida e adotada por grande parte dos engenheiros avaliadores de imóveis, contudo, métodos alternativos podem ser adotados, desde que devidamente justificados do ponto de vista teórico e prático.

Entre esses métodos alternativos está o uso de redes neurais artificiais. Pelli Neto (2006) afirma que as redes neurais artificiais têm sido aplicadas na área de engenharia de avaliações, sendo aceita como metodologia científica pela ABNT. Essa metodologia é prevista pela NBR 14.653-2, que trata da avaliação de imóveis urbanos em seu anexo E.

Contudo, mesmo com a adoção de poderosas ferramentas matemáticas e de inteligência artificial, sabe-se que há ainda muitas dúvidas acerca dos procedimentos de aprendizagem de uma rede neural artificial, bem como inúmeras imprecisões inerentes ao próprio ato de avaliar.

Matloff *et al.* (2018), em seu artigo “polynomial regression as an alternative to neural nets”, afirma que redes neurais são regressões polinomiais e que, para cada camada oculta de uma rede neural, há um modelo de regressão polinomial equivalente, fazendo com que o grau dessa regressão polinomial aumente à medida que aumenta o número de camadas ocultas da rede. Frente a isso, o presente artigo

demonstra que resultados obtidos por regressão polinomial apresentaram precisão igual ou superior àqueles obtidos por redes neurais.

Ademais, busca-se nesse estudo comparar os resultados que se obtêm ao se tratar 50 dados de oferta de imóveis utilizando modelos de regressão polinomial e redes neurais artificiais, com o objetivo de verificar se os resultados convergem para aqueles encontrados por Matloff *et al.* (2018).

2 | REGRESSÃO POLINOMIAL

Em termos formais, a regressão diz respeito ao estudo da dependência de uma variável, a variável dependente, em relação a uma ou mais variáveis, as variáveis explanatórias, visando estimar e/ou prever o valor médio da primeira em termos dos valores conhecidos ou fiados (em amostragens repetidas) das segundas (GUJARATI e PORTER, 2011).

Os modelos de regressão são amplamente usados em diversas aplicações para descrever a relação entre a variável resposta y e uma ou mais variáveis explicativas x_1, x_2, \dots, x_m . É importante salientar, ainda, que o modelo de regressão é linear se a quantidade de interesse é função linear dos parâmetros envolvidos.

2.1 Modelos de regressão linear

O exemplo mais simples de regressão polinomial consiste em ajustar uma reta a um conjunto de pares de observação em que y é a variável dependente, x_i é a variável explanatória ou regressora, e o termo de erro e_i , o indicador da i -ésima observação. A expressão matemática da reta é

$$y_i = f(x_i) = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + e_i \quad (2.1)$$

Em que β_0 é o coeficiente que representa o intercepto com o eixo dos y , e β_1 representa inclinação que a reta forma com o eixo das abscissas. O e é o erro ou resíduo entre o valor ajustado pelo modelo e a observação.

Dizemos que o erro ou resíduo é a discrepância entre o valor verdadeiro e o valor aproximado de y , que pode ser expresso por:

$$e_i = y_i - (\beta_0 + \beta_1 x_{1i}) \quad (2.2)$$

Nesse caso, o melhor ajuste será aquele que busca minimizar a soma dos quadrados dos resíduos entre o y medido e o y calculado com o modelo linear para

todos os dados disponíveis na amostra, definida pela equação

$$S_r = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_{1i})^2 \quad (2.3)$$

Na engenharia de avaliações, o mais comum é a utilização de modelos de regressão linear múltipla. Nesse sentido, uma extensão bastante usada de regressão polinomial linear é o caso no qual y é uma função linear de duas ou mais variáveis independentes x_1, x_2, \dots, x_m . Nesse caso teremos:

$$y_i = f(x_1, x_2, \dots, x_m) = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_m x_{mi} + e_i \quad (2.4)$$

Esse modelo é particularmente útil quando desejamos fazer o ajuste de dados experimentais em que a variável explicada é uma função de duas ou mais variáveis explicativas. Nesse caso, a reta de regressão torna-se um plano ou hiperplano, dependendo da quantidade de variáveis explicativas.

Os modelos (2.1) e (2.4) são obtidos pelo critério de mínimos quadrados em que se realiza a regressão linear simples e regressão linear múltipla para se ajustar uma reta ou um plano de m dimensões aos n dados.

2.2 Modelos regressão polinomial

Em problemas de engenharia de avaliações, embora algumas variáveis apresentem padrão semelhante ao de uma reta, existem outras que não seguem esse modelo. Nesses casos uma curva poderia ser adequada e, comumente, realiza-se a transformação dessa variável.

Entretanto, uma alternativa possível é ajustar polinômios aos dados da amostra utilizando regressão polinomial. A técnica dos mínimos quadrados pode ser prontamente estendida para se ajustar dados por um polinômio de grau maior. O modelo polinomial, com uma variável x_1 , é dado

$$y_i = f(x_1) = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{1i}^2 + \dots + \beta_m x_{1i}^m + e_i \quad (2.5)$$

Verifica-se que a equação (2.5) é polinomial $\forall m \geq 2$ com $m \in \mathbb{N}$ ou com $\beta_2 \neq 0$. Para esse modelo, o resíduo é dado pela reorganização de (2.5)

$$e_i = y_i - (\beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{1i}^2 + \dots + \beta_m x_{1i}^m) \quad (2.6)$$

Assim como no caso anterior, o melhor ajuste é aquele em que os valores dos coeficientes são determinados escrevendo-se a soma dos quadrados dos resíduos, conforme equação (2.6) mostrada abaixo

$$S_r = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_{1i} - \beta_2 x_{1i}^2 - \dots - \beta_m x_{1i}^m)^2 \quad (2.7)$$

Faz-se, então, a derivada parcial da equação (2.7) em relação a cada coeficiente desconhecidos do polinômio. As equações obtidas são, dessa forma, igualadas a 0 e organizadas para se determinar esses coeficientes.

Nesse caso, constata-se que o problema de se determinar um polinômio $f(x_1)$, de grau dois, pelo critério dos mínimos quadrados, é equivalente a resolver um sistema de três equações lineares simultâneas.

Para se determinar os coeficientes de um polinômio de uma variável com grau m , deve-se resolver um sistema de $(m + 1)$ equações lineares.

Pode-se também utilizar regressão polinomial quando se tem mais de uma variável explicativa. Além dos termos quadrático, cúbicos, quárticos etc, podemos inserir interação entre as variáveis. Um exemplo possível, envolvendo apenas duas variáveis independentes, é mostrado a seguir:

$$y_i = f(x_1, x_2) = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \beta_3 x_{1i}^2 + \beta_4 x_{2i}^2 + \beta_5 x_{1i} x_{2i} + e_i \quad (2.8)$$

Em engenharia de avaliações, a grande maioria dos trabalhos envolve regressões polinomiais com mais de uma variável explicativa. Em geral utiliza-se regressão linear múltipla, com técnicas já consagradas.

3 | REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

McCulloch e Pitts propuseram, em 1943, um modelo de neurônio artificial, como uma unidade de processamento simples, cuja proposta não era copiar o neurônio verdadeiro, mas, sim, modelá-lo (BEALE *et al*, 1990).

Nesse modelo, o neurônio possuía dados de entrada da rede ou de saídas de outros neurônios (x_1, x_2, \dots, x_m) , ponderados pelos pesos (w_1, w_2, \dots, w_p) das ligações ou sinapses, sendo estes pesos fixos, não ajustáveis.

Segundo Ferneda (2006), combinando diversos neurônios, forma-se uma rede

neural. As redes neurais são modelos que buscam simular o processamento de informação do cérebro. São compostas por unidades de processamentos simples, os neurônios, que se unem por meio de sinapses.

De lá para cá, houve muita evolução. As redes neurais artificiais (RNA's) continuam tendo o seu funcionamento inspirado na estrutura biológica do cérebro humano e podem ser entendidas como conjuntos bem estruturados de unidades de processamento, interligados por canais de comunicação, cada qual tendo um determinado peso correspondente a um valor numérico. No decorrer do processo de "aprendizagem", os referidos pesos vão se ajustando de forma a atingir o objetivo pretendido (BAPTISTELLA *et al.*, 2007).

Conforme Sobreiro *et al.* (2009), a sistematização das redes neurais artificiais é realizada conforme o padrão de conexão entre camada das redes, o número de neurônios em cada camada, da capacidade da aprendizagem e as funções de ativação, ou seja, uma rede neural é um conjunto de entrelaçamentos, no qual cada conexão apresenta um peso associado, a fim de ajustar os *inputs* (entradas) aos *outputs* (saídas).

3.1 Perceptrons de múltiplas camadas

Dentre todas as possíveis topologias, as redes neurais podem ser classificadas em não recorrentes (feed-forward) e recorrentes (feed-back). As redes neurais não recorrentes são as que não possuem realimentação de suas saídas nas entradas. Essas redes têm sua estrutura organizada em camadas, podendo ser constituídas por uma ou mais camadas (GUARNIERI, 2006).

As redes neurais multicamadas contêm um conjunto de neurônios de entrada, uma camada de saída e uma ou mais camadas intermediárias, chamadas de camadas ocultas. Em geral, a entrada não é considerada camada da rede, pois apenas recebe os dados e os distribui, não realizando ponderação, somatório ou comparação com limiares.

Em geral, as redes neurais não-recorrentes com mais de uma camada são denominadas perceptrons de múltiplas camadas (multilayer perceptron). A Figura 01 traz um perceptron de múltiplas camadas contendo três entradas, duas camadas intermediárias com 4 neurônios cada e uma camada de saída com um neurônio, produzindo uma informação de saída.

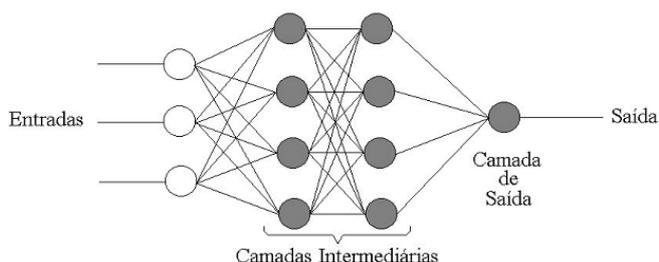


Figura 01 - Rede neural de duas camadas ocultas - Fonte: Guarnieri (2006).

Cada neurônio representado por um círculo pintado na rede neural da Figura 01, pode ser visto como modelo para um neurônio genérico k da Figura 02, apresentado de forma simplificada por Haykin (2001, p. 36).

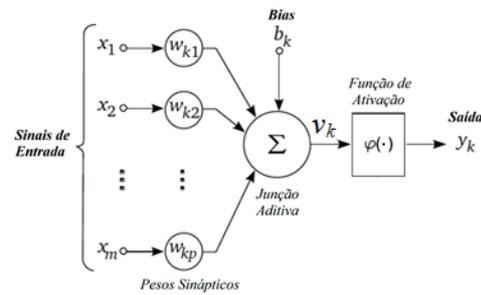


Figura 02 - Modelo não linear de um neurônio - Fonte: Haykin (2001)

O modelo proposto por Haykin (2001) é composto por três elementos básicos: A) um conjunto de m conexões de entrada (x_1, x_2, \dots, x_m), caracterizadas por pesos (w_1, w_2, \dots, w_p); B) um somador (S) para acumular os sinais de entrada; C) uma função de ativação (j) que limita o intervalo permissível de amplitude do sinal de saída (y_k) a um valor fixo, dependendo da função escolhida.

O chamado nível de atividade interna do neurônio (v_k) é obtido pela combinação do somatório das entradas ponderadas com outro valor ajustável, denominado bias (b_k). A saída do neurônio, y_k , é produzida pela aplicação do nível de atividade interna a uma função de ativação (j). O bias tem o efeito de aumentar ou diminuir a entrada líquida da função de ativação, dependendo se ele é positivo ou negativo, respectivamente (Haykin, 2001).

Um neurônio pode ser representado matematicamente pelas expressões:

$$v_k = \sum_{j=1}^n w_{kj} \cdot x_j + b_k \quad (2.9)$$

$$y_k = \varphi(v_k) \quad (2.10)$$

Tem-se que a equação (2.9) determina o valor de v_k que será levado para a função de ativação escolhida. Em razão da necessidade da utilização de sua derivada, é interessante que a função φ seja contínua e diferenciável. A função de ativação define a saída de um neurônio de acordo com o nível de atividade produzida pelas suas entradas. Funções comumente empregadas, segundo Braga *et al.* (2000) e Haykin (2001), são:

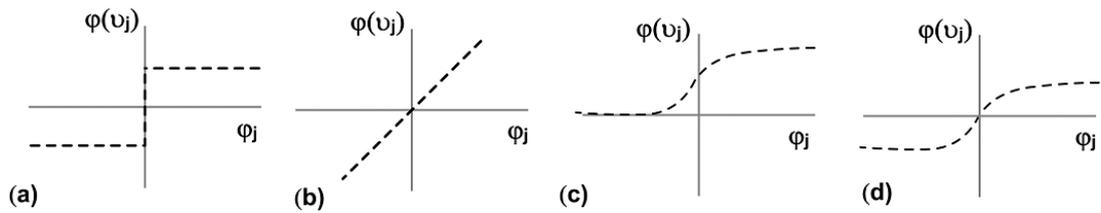


Figura 03 - Função (a) degrau, (b) linear, (c) logística, (d) tanh - Fonte: Fiorin *et al* (2011).

3.2 Arquitetura de uma rede neural

As redes neurais artificiais diferenciam-se pela sua arquitetura e pela forma como os pesos associados às conexões são ajustados durante o processo de aprendizado da rede. A arquitetura de uma rede neural restringe o tipo de problema no qual a rede poderá ser utilizada, e é definida pelo número de camadas (camada única ou múltiplas camadas), pelo número de nós em cada camada, pelo tipo de conexão entre os nós (*feed-forward* ou *feed-back*) e por sua topologia (HAYKIN, 2001, p. 46-49).

Segundo Haykin (2001), existem três tipos de arquitetura fundamentalmente diferentes: as redes de camada única alimentadas adiante, redes de múltiplas camadas alimentadas adiante (não recorrentes) e as redes recorrentes.

1) Redes alimentadas adiante ou não recorrentes (*feed-forward*) com camada única: a camada de entrada não é considerada, pois não é feito cálculo algum, logo o termo “camada única” refere-se à camada de saída.

2) Redes alimentadas adiante ou não recorrentes (*feed-forward*) com múltiplas camadas: a camada de entrada continua não sendo considerada, pois não é feito cálculo algum, portanto somente são contadas as camadas chamadas intermediárias e a camada de saída da rede neural.

3) Redes alimentadas adiante com laços de realimentação ou recorrente (*feed-back*): o que diferencia este tipo de rede dos outros dois tipos de rede é o fato de haver pelo menos um laço de realimentação na rede neural.

3.3 Aprendizagem de uma rede neural

Conforme Braga *et al.* (2000), uma das propriedades mais importantes de uma rede neural é a capacidade de aprender por intermédio de exemplos e fazer inferências sobre o que aprendeu, melhorando gradativamente o seu desempenho. As redes neurais utilizam um algoritmo de aprendizagem cuja tarefa é ajustar os pesos de suas conexões.

No processo de aprendizagem, também chamado de treinamento da rede, um conjunto de exemplos é fornecido para a rede, que ajusta os seus pesos sinápticos até que ela retire as características principais que representam as informações inseridas na rede. Na sequência, esses pesos são fixados e usados para buscar novas soluções para novas entradas.

Ademais, os treinamentos podem ser classificados em supervisionados e não-

supervisionados. No treinamento não-supervisionado é fornecido à rede somente valores de entrada que são organizados em diferentes classes de acordo com a semelhança de suas propriedades através do ajuste de seus pesos da rede (FIORIN *et al.*, 2011). No treinamento supervisionado, a cada iteração um vetor de entradas e um vetor alvo (saídas desejadas) são apresentados à rede. A partir das entradas, a rede calcula as saídas e compara-as com os alvos. Os pesos são ajustados de maneira que os valores das saídas aproximem-se dos alvos. (GUARNIERI, 2006).

Segundo Guarnieri (2006), considerando-se um neurônio de saída k em treinamento supervisionado sequencial, a cada iteração t é produzido um sinal de erro $e_k(t)$, obtido pela diferença entre o valor de saída calculado pelo neurônio e o valor alvo ou, saída desejada, $d_k(t)$

$$e_k(t) = d_k(t) - y_k(t) \quad (2.11)$$

Em cada uma das etapas do treinamento da rede, são realizadas alterações nos pesos, provocando uma redução incremental dos erros, de modo que a solução vai convergindo para o valor esperado.

Para Haykin (2001), o encerramento da fase de treinamento ocorre quando o erro atingir um valor mínimo pré-estabelecido ou quando a taxa de variação desse erro atingir um valor definido como critério de parada.

Em algumas situações, mesmo que se tenha obtido um erro mínimo para a rede neural na fase de treinamento, quando aplicado a um novo grupo de dados, o erro eleva-se. Diz-se, então, que a rede neural não adquiriu capacidade de generalização e que ocorreu um problema no treinamento da rede, conhecido como *overfitting* ou excesso de treinamento.

O fenômeno de *overfitting* ocorre, geralmente, quando é empregado um número muito grande de neurônios ocultos na rede, fazendo com que se permita à rede 'decorar' os dados, ao invés de aprender os seus padrões. Com o objetivo de garantir a capacidade de generalizar, métodos foram criados, entre eles a regularização e o treinamento com parada antecipada.

4 | MÉTODO APLICADO

Nesse estudo foram utilizados os 50 (cinquenta) dados de mercado de imóveis encontrados em Hochheim (2015). Na Figura 04, pode-se ver o comportamento da variável dependente em função de cada um dos regressores. Na sequência, vemos a descrição das variáveis consideradas no modelo, encontradas descritas em Hochheim (2015, p. 23):

- **Valor:** Valor total do imóvel. Variável quantitativa contínua. Unidade monetária

em reais (R\$).

- **Area_Total:** Área total do imóvel. Variável quantitativa contínua. Unidade: metros quadrados (m²).

- **Quartos:** Número de quartos, incluindo suítes. Variável quantitativa discreta.

- **Suítes:** Número de suítes do apto. Variável quantitativa discreta.

- **Garagens:** Número de vagas de garagens do apartamento. Variável quantitativa discreta.

- **Dist_Beira_Mar:** Distância em metros ao polo valorizador Beira Mar Norte. Variável quantitativa contínua.

- **Padrao:** Padrão do imóvel. Variável qualitativa tipo código alocado. Representa os três padrões encontrados na amostra. Existem 8 dados de padrão baixo (código alocado = 1), 17 dados de padrão médio (código alocado = 2) e 25 dados de padrão alto (código alocado = 3). (HOCHHEIM, 2015).

Para as simulações foi utilizado o *software* estatístico R na sua versão 3.5.1. Nas figuras abaixo, pode-se acompanhar a representação gráfica da variável dependente *versus* cada variável independente do modelo.

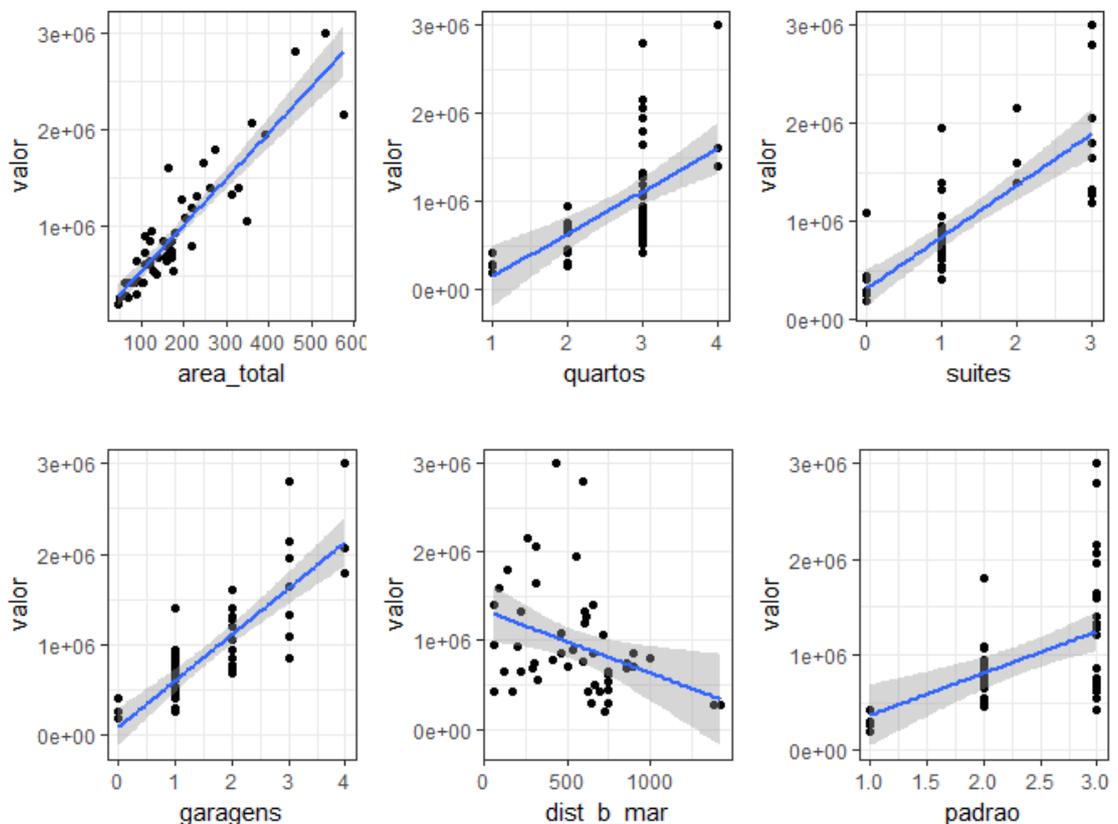


Figura 04: Variável dependente *versus* regressores. Fonte: Autores.

Tanto para o método de regressão polinomial quanto para o método das redes neurais artificiais, foi realizado o seguinte procedimento:

1. Para uma determinada porcentagem p , inicialmente de 20% do número de dados disponíveis n , foram criadas duas partições, uma partição de treinamento, com $p \times n = 10$ dados e uma partição de testes, com $(1 - p) \times n = 40$ dados, em que os dados das partições são escolhidos randomicamente.

2. Com as partições de treinamento assim obtidas, foram ajustados 100 modelos de regressão polinomial de grau 2, ou de redes neurais artificiais com 1 camada oculta.

3. Com os modelos obtidos no passo anterior, foram realizadas estimativas sobre os dados da partição de testes e foi calculado o RMSE para a partição de testes.

4. Iterativamente aumentou-se, de 2 em 2 pontos percentuais o tamanho da partição de treinamento, calculando-se o valor do RMSE para a partição de teste.

5. Finalmente, comparou-se o comportamento dos valores medianos do RMSE com o aumento do número de dados da partição de testes para as duas metodologias, assim como a distribuição final do RMSE com a utilização de 90% dos dados na partição de treinamento.

As redes neurais artificiais foram modeladas com o auxílio do pacote *neuralnet* (FRITSCH, 2016). Para a regressão polinomial, foi adotada a redução dimensional pelo método de análise de componentes principais, já programado internamente no pacote *polyreg* (MATLOFF *et al.*, 2018).

5 | RESULTADOS OBTIDOS

Nos tópicos seguintes serão apresentados os resultados obtidos ao se realizar a modelagem por regressão polinomial e por redes neurais.

5.1 Redes neurais artificiais

Na Figura 05, pode-se ver o comportamento do RMSE mediano para cada tamanho de partição com a aplicação do modelo de redes neurais, onde se observa que à medida que aumenta o tamanho da partição de treinamento, diminui o valor do RMSE mediano, ainda que com alguma instabilidade. Já na Figura 06, mostra-se que a distribuição do RMSE para a partição de treinamento de maior tamanho é relativamente esparsa.

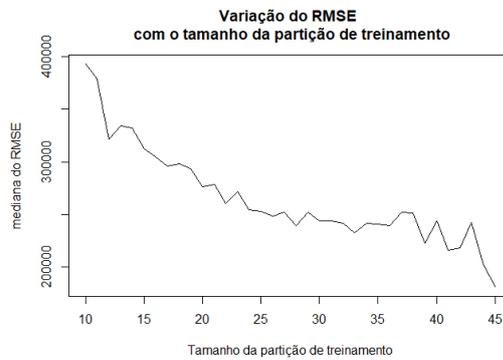


Figura 05 - RMSE mediano com o tamanho da partição de testes - Fonte: Autores.

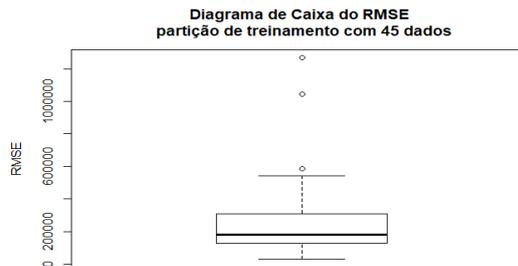


Figura 06 - Distribuição dos valores de RMSE para partição de treinamento. Fonte: Autores.

5.2 Regressão polinomial

Na Figura 07, pode-se ver o comportamento do RMSE mediano para cada tamanho de partição com a aplicação do modelo de regressão polinomial, onde se observa que à medida que aumenta o tamanho da partição de treinamento, diminui o valor do RMSE mediano, com uma estabilidade muito maior do que a verificada com os modelos de redes neurais artificiais. Já na Figura 07, mostra-se que a distribuição do RMSE para a partição de treinamento de maior tamanho é muito mais compacta do que a obtida na modelagem por redes neurais artificiais.

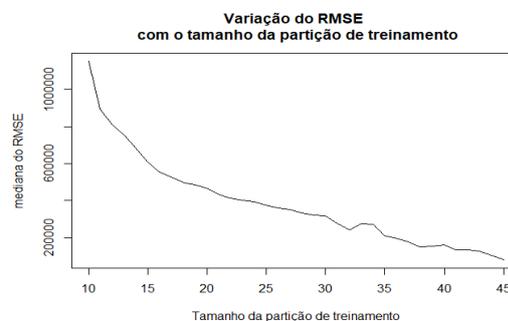


Figura 07 - RMSE mediano com o tamanho da partição de testes - Fonte: Autores.

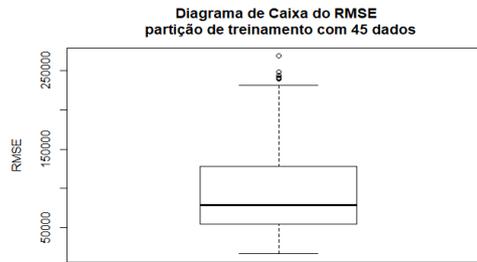


Figura 08 - Distribuição dos valores de RMSE para partição de treinamento. Fonte: Autores.

6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo comparar os resultados obtidos ao se tratar dados utilizando regressão polinomial e técnicas de redes neurais artificiais. Verificou-se que os resultados da raiz do erro médio quadrático - RMSE para modelos de regressão polinomial foram menores e com menor dispersão quando comparados com os obtidos por redes neurais artificiais.

Conforme os últimos achados na ciência estatística, e de acordo com os resultados apresentados tanto em Matloff (2018) quanto nesse estudo, pondera-se que sejam despendidos maiores esforços em estudos relacionados à utilização da regressão polinomial na Engenharia de Avaliações, haja vista que, como a regressão polinomial nada mais é do que um caso particular de regressão linear, seu método e aplicação já são plenamente conhecidos e estão estabelecidos e normatizados pela NBR 14.653-02, enquanto as redes neurais ainda apresentam comportamento um tanto desconhecido, apesar de sua excelente performance e resultados.

Além disso, como o desempenho dos modelos de regressão polinomial mostrou-se bastante satisfatório, sugere-se, também, que sejam investidos maiores esforços no estudo das particularidades do respectivo método para uma possível posterior normatização dos seus procedimentos.

REFERÊNCIAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14653-2**: Avaliação de Bens. Parte 2: Imóveis Urbanos. Rio de Janeiro, 2011.
- BAPTISTELLA, Marisa; CUNICO Luiz Homero Bastos; STEINER, Maria Teresinha Arns. **O uso de redes neurais na engenharia de avaliações**: determinação dos valores venais de imóveis urbanos. Revista Ciências Exatas e Naturais. São Paulo, v. 9, n. 2, jul./dez 2007.
- BEALE, R.; JACKSON, T. **Neural computing**: an introduction. Institute of Physics Publishing, 1990.
- BRAGA, A. P.; CARVALHO, A. C. P. L. F.; LUDEMIR, T. B. **Redes neurais artificiais**: teoria e aplicações. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

FERNEDA, Edberto. **Redes neurais e sua aplicação em sistemas de recuperação de informação**. Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Ribeirão Preto - USP. jul. 2006.

FIORIN, D. V.; MARTINS, F. R.; SCHUCH, N. J.; PEREIRA, E. B. **Aplicações de redes neurais e previsões de disponibilidade de recursos energéticos solares**. Revista Brasileira Ensino de Física. São Paulo, v. 33, n 11, mar. 2011.

FRITSCH, S.; GUENTHER, F. (2016). **neuralnet: Training of Neural Networks**. R package version 1.33. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=neuralnet>>. Acesso em out. 2018.

GUARNIERI, Ricardo André. **Emprego de redes neurais artificiais e regressão linear múltipla no refinamento das previsões de radiação solar do modelo ETA**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, IMPE, São José dos Campos, 2006.

GUJARATI, D. N; PORTER, D. C. **Econometria básica**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH Bookman, 2011.

HAYKIN, Simon. **Redes neurais: princípios e prática**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

HOCHHEIM, Norberto. **Engenharia de avaliações: módulo básico**. Florianópolis: IBAPE - SC, 2015.

MATLOFF, Norman; CHENG, Xi; KHOMTCHOUK, Bohdan; MOHANTY, Pete. **Polynomial regression as an alternative to neural nets**. 2018. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/1806.06850>>. Acesso em out. 2018.

PELLI NETO, A. **Redes neurais artificiais aplicadas às avaliações em massa: estudo de caso para a cidade de Belo Horizonte**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, UFMG, Belo Horizonte, 2006.

SOBREIRO, V. A.; ARAÚJO, P. H. S. L.; NAGANO, M. S. **Precificação do etanol utilizando técnicas de redes neurais artificiais**. Revista de Administração. São Paulo, v. 44, n. 1, p. 46-58, jan./fev./mar. 2009.

ANALISE DE RECALQUES NO CONTORNO RODOVIÁRIO DA GRANDE FLORIANÓPOLIS

Wagner de Sousa Santos

Universidade Federal de Santa Catarina,
Laboratório de Vibrações e Acústica
Florianópolis – Santa Catarina

Amanda Morlos

Centro Universitário Estácio de Santa Catarina
São José – Santa Catarina

RESUMO: As últimas décadas estão marcadas pelo longo processo de desenvolvimento da construção civil no Brasil em virtude do grande crescimento populacional do País. Fato que tem como consequência o início de um extenso volume de obras que tornaram-se necessárias para atender a carência de construções de edificações uni e multifamiliares. Apesar do aumento das obras, não havia investimentos em qualificação de mão de obra, projetos e cuidados necessários com os estudos de análises dos solos que receberiam as estruturas. Como este crescimento ocorreu de forma desordenada, suas consequências ocasionam surgimento de um dos principais problemas em obras que é o recalque. Portanto, após estudar e compreender o processo de adensamento e compressibilidade dos solos, que está diretamente ligado ao surgimento de recalques, desperta-se a disposição de realizar um estudo de caso de uma obra de grande porte que foi o enfoque deste trabalho que seria a análise de recalques no contorno rodoviário da grande Florianópolis,

que está sendo erguido sobre solos moles. O estudo destaca as principais técnicas utilizadas para o monitoramento dos solos moles, que visa assimilar às características geotécnicas dos solos e o acompanhamento de previsão de recalques, de forma a conscientização da importância das análises de solo e os cuidados necessários com elaboração de projetos, já que representam grande economia em relação à recuperação das construções.

PALAVRAS-CHAVE: Construção civil. Adensamento. Recalque. Estudo de caso.

ANALYSIS OF RECESSES IN THE ROAD CONTOUR OF GREAT FLORIANÓPOLIS

ABSTRACT: The last decades are marked the long process of development of the civil construction in Brazil due to the great population growth of the Country. Fact that has as a consequence the beginning of an extensive volume of works which became necessary to meet the lack of buildings of single and multifamily buildings. Despite the increase in construction, there were no investments in labor qualification, projects and necessary care with studies of soil analysis that would receive the structures. As this growth happened in a disordered way, its consequences become responsible for causing one of the main causes

of cracks in structures, the repression. Therefore, after studying and understanding the process of soil densification and compressibility, which is directly related to the appearance of settlements, it raises the willingness to carry out a case study of a large work: Analyze the repression the road contour of biggest Florianópolis, which is being raised on soft soils. The study highlights the main techniques used for the monitoring of soft soils, aiming to assimilate the geotechnical characteristics of the soils and the monitoring of predictions of settlements, in order to raise awareness of the importance of soil analysis and the necessary care with the elaboration of projects, which represents great savings in relation to the rebuilding of buildings.

KEYWORDS: Civil construction. Densification. Settlement. Case Study.

1 | INTRODUÇÃO

O solo é um material constituído pela natureza que ao longo dos tempos se apresenta de várias formas, sendo que sua composição depende da localidade e condições nas quais se formou (CAPUTO, 2014p.14). Os solos moles (argilas) ocorrem com maior intensidade no Brasil e em outros países com costas litorâneas extensas. O Estado de Santa Catarina é uma região litorânea aonde há ocorrência de solos moles e suas características, alta compressibilidade e baixa resistência ao cisalhamento, são conhecidas como desfavoráveis para a base de fundações. Com o crescimento urbano e o avanço tecnológico no campo da geotecnia surgiram inumeráveis soluções para a estabilização dessas áreas ditas como indesejáveis para as construções. Todos os tipos de solo, seja pelo peso próprio ou quando submetidos a um carregamento, sofrem uma deformação. Essas deformações podem acontecer em maior ou menor grau que resultarão em recalques. A magnitude dos mesmos deve ser avaliada e comparada com as admissíveis para um bom funcionamento da obra projetada para todo o decorrer de sua vida útil. Sendo assim é fundamental o entendimento e o estudo de comportamento de solos moles.

É neste cenário que realiza-se a obra do contorno rodoviário da Grande Florianópolis, a maior obra de infraestrutura em construção no País que está sendo implantada no estado de Santa Catarina para desviar o tráfego de longa distância da região metropolitana da Grande Florianópolis. O traçado passa pelos municípios de Governador Celso Ramos, Biguaçu, São José e Palhoça contribuindo assim para a mobilidade e transporte de cargas em geral no País. Todo tipo de veículo que circula pela BR-101 (principal rodovia do estado de SC) poderá transitar pelo Contorno tanto para longas distâncias ou para ter acesso às estradas que fazem ligação com o mesmo. São elas: rodovias estaduais SC - 407, SC - 281 e Estrada Geral de Três Riachos (ver Figura 1).



Figura1 - Contorno Rodoviário da Grande Florianópolis

Fonte: Site Autopista Litoral Sul

O contorno é uma obra de grande porte que contém 50 quilômetros de extensão que estão sendo executados sobre solos moles o que faz com que a mesma apresente particularidades. Para a realização de tal obra foi necessário efetuar aterros sobre estes solos, o que por sua vez faz existir a instrumentação e acompanhamento geotécnico dentro da obra, ou seja, em todos os seus trechos há monitoramento de placas de recalques.

2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Histórico de tensões

Os solos que ainda não receberam um carregamento maior do que aquele a que estão submetidos são nomeados como normalmente adensados, sendo suas deformações essencialmente plásticas quando carregados, isto é, sofrerá deformações irreversíveis já nos primeiros estágios de carregamento. O estado de tensões de pré-adensamento é considerado um divisor entre o comportamento elástico e o comportamento plástico do solo. O solo apresenta um comportamento tipicamente elástico quando é carregado até o estado de pré-adensamento (no caso das areias, seria melhor dizer de pré-compressão) e um comportamento tipicamente plástico quando é solicitado a partir daí. Assim é importante avaliar se o estado de tensão após o carregamento da fundação ultrapassa ou não o de pré-adensamento, para que os parâmetros de deformação sejam tirados dos trechos corretos das curvas dos ensaios em laboratório (VELLOSO E LOPES, 2011, p.10).

2.2 Adensamento

Todos os materiais sofrem deformações quando estão submetidos a determinadas forças. Alguns materiais deformam mais que outros, o que é o caso

do solo que mesmo submetido á pequenas cargas sua deformação é maior do que materiais como o aço e concreto. O processo de adensamento é aquele onde ocorre a diminuição dos índices de vazio devido à compressão que esta sendo exercida sobre o mesmo, o que faz com que o solo expulse as partículas de água causando deformações no solo. O solo pode produzir esta deformação imediatamente ou ao longo dos tempos, estas geralmente não ocorrem de forma uniforme, o que causa desnivelamento do terreno.

2.3 Recalques

Um dos aspectos mais importantes de projetos relacionados à engenharia geotécnica são a delimitação e entendimento das deformações (recalque) do solo, devido a carregamentos verticais que são aplicados na superfície do terreno ou em camadas próximas. O recalque é definido como sendo um fenômeno que ocorre quando uma edificação sofre um rebaixamento, desnivelamento devido ao adensamento (diminuição do índice de vazios) do solo sob sua fundação. Este fenômeno se divide em parcelas.

a. Recalque Primário ou por Adensamento:

Também pode ser chamado de recalque por adensamento. Uma das principais causas de recalques é a compressibilidade do solo, ou seja, a diminuição do seu volume sob a ação das cargas aplicadas; em particular, um caso de grande importância prática é aquele que se refere á compressibilidade de uma camada de solo, saturada e confinada lateralmente. Tal situação condiciona os chamados recalques por adensamento. (CAPUTO, 2014 P.82).

Esse tipo de recalque é definido pela Equação 01:

$$\rho_1 = \frac{H}{1+e_0} \times (C_c \times \log \frac{\sigma_{vf}}{\sigma_{vm}} + C_r \times \log \frac{\sigma_{vm}}{\sigma_{v0}}) \text{ (Eq.1)}$$

onde ρ_1 é recalque primário em m, H a espessura da camada de solo mole em m, e_0 o índice de vazios inicial, C_c o índice de compressão, C_r o índice de compressão, σ_{vf} a tensão efetiva final em kPa, σ_{v0} a tensão efetiva inicial em kPa e σ_{vm} a tensão de pré-adensamento em Kpa.

b. Recalque secundário:

Segundo ALMEIDA (2010), o recalque secundário é dito como compressão lenta que continua a ocorrer após o desenvolvimento dos recalques primários ou adensamentos primários, é uma variação lenta de volume que ocorre de forma muito mais lenta que a primeira.

Esse tipo de recalque é definido pela Equação 02:

$$\rho_2 = c_2 \times (H - \rho_1) \times \log \frac{t_2}{t_1} \text{(Eq.02)}$$

sendo ρ_2 o recalque secundário, H a espessura da camada de solo mole, ρ_1 o recalque primário, C_2 o índice de compressão secundária, T_1 o tempo para ocorrer 95% do adensamento primário (anos) e T_2 o tempo para ocorrer o adensamento secundário (anos).

c. Recalque total:

Somatório do resultado do recalque primário com o resultado do recalque secundário.

É definido pela equação 03:

$$\rho_t = \rho_1 + \rho_2 \text{(Eq.03)}$$

onde ρ_t é recalque total, ρ_1 o recalque primário e ρ_2 o recalque secundário, todos em m.

3 | METODOLOGIA

3.1 Princípio do estudo

A concepção e execução de um projeto de obra de grande porte como a implantação de uma rodovia requer múltiplos cuidados. É indispensável o constante monitoramento dos solos através de instrumentação para certificar que há segurança de que o mesmo atingiu os níveis necessários de recalque por adensamento para implementação da estrutura que foi idealizada. O objetivo da pesquisa foi fazer o acompanhamento da instrumentação da obra (placas de recalques) a fim de exibir as estimativas de recalques do projeto executivo em comparação com as medidas obtidas de campo.

3.2 Elementos de Referência

A metodologia de pesquisa é fundamentada a partir das ideias dos autores descritos na revisão bibliográfica e outros fatores descritos neste item para um melhor entendimento da geologia local e desenvolvimento de projetos. É necessário usar como referência a NBR (norma brasileira) aprovada pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas, e documentos de orientação do DNER (Departamento

Nacional de Estradas e Rodagens), órgão federal que está diretamente ligado ao Ministério dos Transportes. O mapa geológico apresenta os dados da área de interesse do contorno, dados como os tipos de rochas presentes no local (cristalinas, vulcânicas, e depósitos de sedimentos aluviais devido à existência do Rio Biguaçu), sendo apresentado na Figura 2.

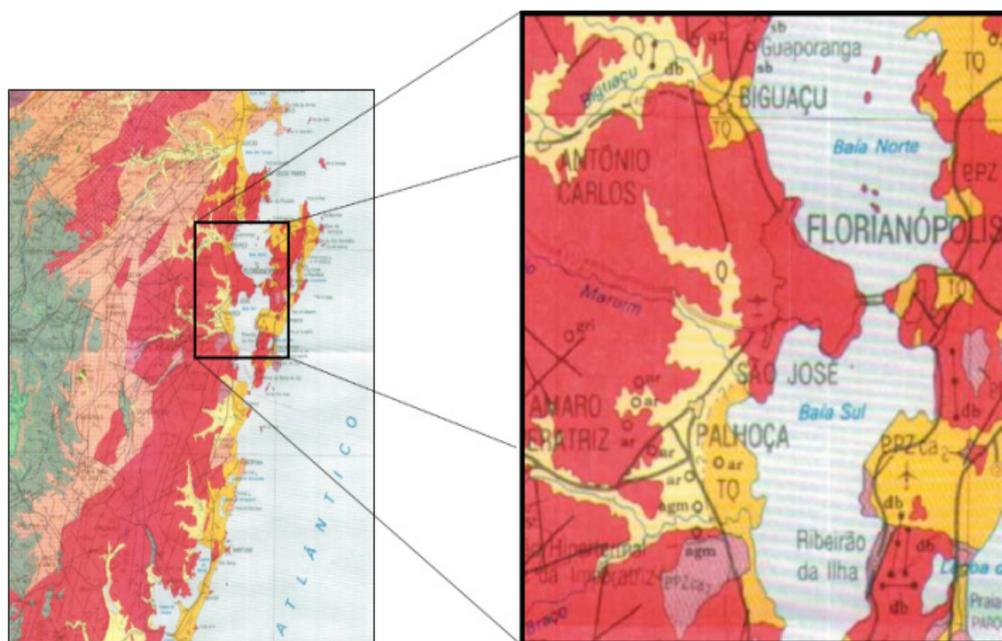


Figura 2 - Mapa Geológico da região do Contorno Rodoviário. b

Fonte: Relatório de acompanhamento técnico Autopista Litoral Sul

3.3 Estimativas do projeto executivo

A pesquisa consistiu na análise de recalques por adensamento dos solos de um trecho situado em Biguaçu chamado de ramo 300. Este ramo é uma intersecção da rodovia principal com uma rodovia Estadual, com uma área de 230 metros de extensão. A partir da retirada de amostras de solos por meio do processo de execução dos ensaios de sondagem SPT do ramo foram realizados ensaios em laboratório com estas amostras. Os relatórios técnicos elaborados por meio destes resultados apresentaram as respectivas características do solo e também as estimativas de recalques. Esses dados são os considerados no projeto executivo em andamento, porém, por se tratar de uma obra bastante extensa há necessidade da colocação de placas de recalque nos trechos, que é uma forma assertiva de assimilar o comportamento do solo e verificar o desempenho do mesmo em tempo real.

3.4 Instrumentação Geotécnica e Placas de Recalques

A instrumentação geotécnica pode ser definida de um modo geral como um método aplicado para medir a variação de tensões e deformações que são geradas pela execução de uma obra. Uma das suas finalidades é permitir a comparação

entre as estimativas das tensões e deformações consideradas em projeto tendo como base parâmetros geotécnicos com a realidade da obra, durante ou após o término da execução. Uma das ferramentas da instrumentação geotécnica é a placa de recalque exibida na Figura 3.



Figura 3-Placas de recalque distribuídas ao longo do trecho da obra.

Fonte: Autoria própria.

3.5 Sistemática de instalação e leitura de Placas de Recalques

A placa de recalque foi instalada em toda a extensão da obra como podemos perceber na Figura 4, elas compõem um sistema simples para medir recalques em aterros.



Figura 4-Placas de recalque distribuídas ao longo do trecho da obra.

Fonte: Autoria própria.

Sua aplicação foi feita com a colocação de uma manta geotêxtil (material constituído praticamente de fibras, que desempenha diversas funções como

drenagens e separação de materiais), aonde o mesmo consiste em forrar todo o terreno natural para que o mesmo possa receber uma camada de areia (entre média e grossa) permeável com 0,40 m de espessura. Foi efetuada outra camada com argila, compactada somente com o tráfego do equipamento chamado trator de esteira e com espessura também de 0,40 m. Com o auxílio topográfico foram marcados os locais que receberiam essas placas nos pontos definidos, sendo necessário fazer uma cava (remoção do solo que anteriormente foi lançado) com largura de 60x60 e profundidade de 0,30 cm. Na sequência foi feita a instalação da placa e nivelamento da mesma e é recomposto o aterro em função das cavas. Na Figura 5 verifica-se o processo de cava e de inserção da placa pronto.



Figura 5 - Cava (remoção de solo) pronta já com a placa de recalque inserida.

Fonte: Autoriaprópria.

As placas são constituídas por uma chapa galvanizada de seção quadrada aonde é fixada a haste prolongada (tubos), a mesma dispõe de segmentos de um metro que são adicionados conforme a placa vai rebaixando (devido ao recalque) e a subida das camadas de aterro. A Figura 6 demonstra o final da haste prolongada onde se encontra uma esfera na ponta para apoio da mira topográfica.



Figura 6- Apoio semi esférico para mira topográfica.

Fonte: Autoriaprópria

Com este instrumento pode-se obter uma precisão de 0,02 mm. Assim como qualquer outro equipamento de medição foi necessário alguns cuidados com o mesmo para evitar causadores de incertezas nas medições. Por meio de tais medições foram desenvolvidas tabelas de acompanhamento, o que proporciona a comparação de estimativa de projeto e laboratório com o comportamento de fato real do solo em determinado trecho.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Seguimento do Estudo

Após sua instalação, as placas de recalques começam a serem monitorados, os aterros continuam sendo executados, são realizadas quatro leituras das placas por mês, esses resultados são monitorados continuamente com o objetivo de identificar se o recalque já estabilizou. Após se perceber que 04 leituras sequenciais das placas se mantiveram inalteradas, o recalque é considerado estabilizado e o segmento está liberado para que as próximas etapas da obra sejam continuadas. Os recalques analisados são referentes aos períodos de junho de 2017 a setembro de 2017, Setembro de 2017 á Março de 2018 do trecho chamado de Ramo 300 e a observação de duas placas (20 e 25) do ramo. As previsões de recalques basearam-se nos resultados de sondagem á percussão, dos ensaios de adensamento e bibliografias referentes ás argilas moles da costa litorânea do Brasil, aplicando - se a Teoria do Adensamento de Terzaghi para os recalques por adensamento da camada de argila saturada.

4.2 Estimativas de Recalque por laboratório

Na tabela 1 ilustrada constam os dados de previsão de recalque. Na primeira coluna encontra-se o nome da placa, na sua sequência os valores obtidos em laboratório para os recalques primário, secundário e o total (somatório do recalque primário com o secundário).

Tabela de Previsão de Recalques				
Ramo 300 - Placas	Recalque Primário (cm)	Recalque Secundário (cm)	Recalque Total (cm)	Tempo de estabilização (meses)
20	5,7	47,9	53,7	5
25	4,9	35,2	40,1	4

Tabela 1 - Previsão de recalques

As placas escolhidas para análise de recalques do ramo 300 são as de número 20 e 25, o objetivo é apresentar uma placa com valores muito diferentes do esperado pelo laboratório e outra placa que apresente valores muito próximo e coerentes com os de laboratório.

4.3 Comparativo de Recalque de laboratório com Recalques da obra

O acompanhamento dos recalques em obra é feito com tabelas ou gráficos. Na tabela são inseridos dados de leitura: número da leitura, data e hora em que foi realizada a leitura da placa, intervalo de dias entre as leituras, cota do aterro e o total de deslocamento da placa (recalque). A primeira situação a ser analisada é a ilustrada na tabela 2, leitura do monitoramento da placa 25 do ramo 300. Na leitura de número 22, do dia 13 de março de 2018, a cota do aterro chegou ao valor do projeto, ou seja, o aterro foi concluído. Nas leituras posteriores é perceptível a diminuição da cota do aterro, significando que ele está recalando em correspondência ao adensamento do solo mole da sua fundação. Os dados exibidos na tabela são coerentes com os demonstrados pelo laboratório. Na tabela 2 está descrito que na placa 25 o recalque final será de 400 mm, ou seja, o mesmo valor apresentado nas medições efetuadas na tabela 1 na coluna de recalque total onde, o valor apresentado na coluna é de 400,1mm, valor igual a 40cm (16,84m - 16,424m). Outra coerência encontrada entre obra e laboratório é o tempo estimado para que ocorram as estabilizações dos recalques por adensamento. Na tabela 1 os valores são referente ao relatório do laboratório no qual o tempo indicado é de quatro meses para tais estabilizações e, na tabela de obra (ver Tabela 2) após a finalização dos aterros em março a estabilização de dá por definitiva na ultima leitura feita em Julho, com um intervalo de tempo de quatro meses.

Data da Instalação			Ramo 300 Paca de Recalque : 25		
Número de Leitura	Data	Hora	Intervalo de dias	Cota do aterro (m)	Deslocamento Total (mm)
1	26/09/2017	15:43	0	10,800	0,0
2	03/09/2017	11:21	7	10,850	-21,0
3	10/10/2017	16:12	14	10,850	-26,0
4	17/10/2017	10:49	21	10,850	-32,0
5	24/10/2017	11:05	28	10,900	-32,0
6	31/10/2017	10:57	35	10,900	-56,0
7	07/11/2017	16:18	42	12,969	-56,0
8	21/11/2017	16:00	56	13,280	-67,0
9	28/11/2017	15:20	63	15,030	Prolongamento PR
10	05/12/2017	12:00	70	16,190	Prolongamento PR
11	12/12/2017	16:10	77	16,144	Prolongamento PR
12	19/12/2017	11:33	84	16,050	-107,0
13	02/01/2018	16:25	98	16,030	-141,0
14	09/01/2018	11:25	105	16,000	-157,0
15	16/01/2018	11:09	112	16,900	-202,0
16	23/01/2018	13:30	119	16,840	-208,0
17	30/01/2018	16:02	126	16,840	-277,0
18	06/02/2018	11:22	133	16,860	-277,0
19	20/02/2018	14:00	147	16,860	-277,0
20	27/02/2018	11:50	154	16,860	-284,0
21	06/03/2018	13:28	161	16,870	-287,0
22	13/03/2018	12:30	168	16,840	-284,0
23	03/04/2018	12:37	189	16,840	-321,0
24	17/04/2018	13:33	203	16,840	-316,0
25	08/05/2018	11:10	224	16,466	-321,0
26	22/05/2018	11:28	238	16,427	-353,0
27	05/06/2018	11:22	252	16,426	-393,0
28	12/06/2018	11:28	259	16,425	-400,0
29	19/06/2018	11:42	266	16,424	-400,0
30	26/06/2018	13:17	273	16,424	-400,0
31	03/07/2018	13:18	280	16,424	-400,0

Tabela 2 – Tabela de leitura de recalques na obra – Placa 25.

A segunda situação a ser analisada é através de Gráfico 1 da placa de recalque número 20 do ramo 300.

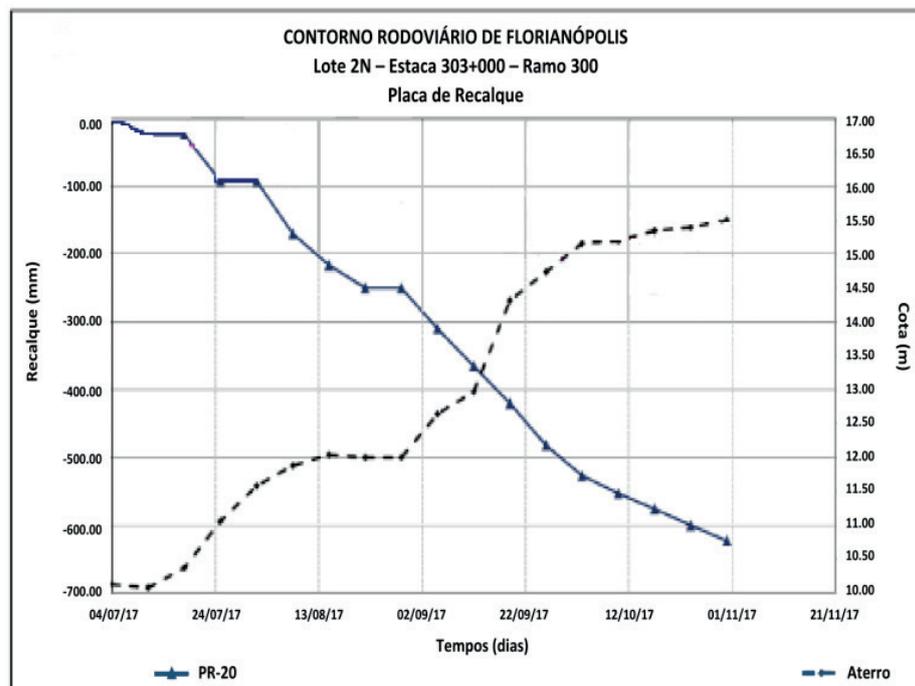


Gráfico 1 - Gráfico de aterro e Placa de recalque número 20 Ramo 300

Os recalques analisados neste gráfico são do período de 04 de junho de 2017

á 21 de novembro de 2017. A linha azul do gráfico representa os recalques que a placa de número 20 do ramo 300 sofreu. A linha tracejada em preto no gráfico representa o aterro sendo construído. No lado esquerdo do gráfico estão os valores do recalque que a placa vem sustentando em milímetros, e no lado direito a cota do aterro construído em metros. É notória a singularidade dos recalques sofridos pela placa no trecho já que, após serem terminadas as execuções dos aterros a placa demonstra que não está próxima da estabilização desses recalques.

A placa de número 20 apresentou total incoerência com o esperado pelo laboratório. No gráfico 1 foi observado que o valor esperado para o recalque total seja de 53,7 cm em 05 meses, porém, fazendo uma breve leitura do gráfico é perceptível que a placa já ultrapassou este valor, a mesma encontra - se entre 600 mm (60 cm) e 700 mm (70 cm) em um período de 06 meses. Uma explicação para este ocorrido é que o ramo 300 é um trecho de 230 m, ou seja, num segmento com tal extensão seria ideal uma amostragem e análise de laboratório mais abrangente. Não ocorreu a retirada de amostras em todos os pontos onde há instalação das placas de recalques pois, isso implicaria em um custo relativamente mais elevado do projeto do contorno rodoviário. Também é necessário levar em consideração que o solo não é homogêneo, dentro de uma mesma área como é o caso do ramo 300 as duas placas de recalques analisadas demonstram valores bem distintos em função da diferença da quantidade de propriedades do mesmo. Este fato ocorrido na placa de número 20 deixa claro o papel e a importância da instrumentação dentro da obra. Os ensaios nem sempre podem fazer-se suficientes tanto para previsão do tempo quanto para previsão de estabilização dos recalques que ocorrem nos trechos da obra.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com as informações disponibilizadas e as correlações que neste trabalho foram adotadas para estudo recalques por adensamento, (ensaio da teoria de adensamento de Terzaghi e outros ensaios complementares disponibilizados pela Associação Brasileira de Normas técnicas) que têm reconhecimento em bibliografias técnicas conhecidas demonstra que, para o estudo em questão não será a todo momento retrata totalmente a realidade da obra, fato que se deve não só a heterogeneidade dos solos, mas também por muitas vezes ser inviável a realização de ensaios em diversos pontos da obra, o que facilitaria a aproximação dos valores de relatórios obtidos através dos ensaios aos valores de recalques medidos na obra.

A Instrumentação torna-se cada vez mais importante já que, fornece dados que podem ajudar o engenheiro em qualquer etapa de um projeto pois nas fases iniciais permitem rever necessidade de mudança de projeto para as fases seguintes e auxilia o engenheiro a determinar o quão rápido uma construção pode prosseguir sem o risco da ruptura. O caso do estudado é pontual, porém possibilita a abertura

para novos estudos no campo da geotecnia. É recomendado que em todo o local aonde houver a necessidade de uma placa de recalque fosse efetuado um ensaio de adensamento para obter uma melhor caracterização do solo e dos valores de recalque que o mesmo pode produzir.

O objetivo geral da pesquisa que se dispôs em elaborar um comparativo entre laboratório e obra e analisar os recalques no contorno rodoviário da Grande Florianópolis foi alcançado, assim como também gera uma colaboração significativa para a formação de um novo engenheiro para o mercado de trabalho.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484**: Sondagem de simples reconhecimento. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12069**: Ensaio de penetração de cone *in situ* (CPT). Rio de Janeiro, 1991.

ALMEIDA, M.S.S.; MARQUES, M.E.S. **Aterro sobre solos moles**: projeto de desempenho. São Paulo, 2010.

CAPUTO, H.P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6. ed., ver. E, Rio de Janeiro, 2014.

DNRE. **DNRE - PRO 381**: Projeto de aterro sobre solos moles para obras viárias. Rio de Janeiro, 1998.

VELLOSO, Dirceu De Alencar; LOPES, Francisco De Rezende. **Fundações**. Rio de Janeiro: 2011.

SIMULAÇÃO DA ESTABILIDADE DE UM TÚNEL EM MACIÇO ROCHOSO

Yann Freire Marques Costa

Faculdade de Ciências e Tecnologia de Viçosa.

Viçosa – Minas Gerais

Danilo Segall César

Faculdade de Ciências e Tecnologia de Viçosa.

Viçosa – Minas Gerais

Gian Fonseca dos Santos

Faculdade de Ciências e Tecnologia de Viçosa.

Viçosa – Minas Gerais

Anderson Nascimento Milagres

Faculdade de Ciências e Tecnologia de Viçosa.

Viçosa – Minas Gerais

Klinger Senra Rezende

Faculdade de Ciências e Tecnologia de Viçosa.

Viçosa – Minas Gerais

Adonai Gomes Fineza

Faculdade de Ciências e Tecnologia de Viçosa.

Viçosa – Minas Gerais

RESUMO: O processo de escavação de um túnel é uma etapa de grande importância e responsabilidade para se dar a sequência na construção, já que durante o processo de remoção do material presente no interior do túnel, ocorre um alívio de tensões nas paredes ao entorno do local perfurado, o que conseqüentemente pode desestabilizar o material que ainda se mantém intacto nas paredes laterais e na porção superior do túnel.

Sendo assim, o processo de estabilização deste maciço é de grande importância para a questão de segurança dos funcionários e futuros usuários. O presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise de estabilidade em túnel fictício, de acordo com dados pré-definidos referente aos parâmetros do maciço rochoso. Para se realizar o estudo de estabilidade, foi utilizado o software Unwedge 3.0 do pacote Rocscience, onde o programa utilizado gerou 10 combinações distintas das regiões instáveis, cada combinação possuindo 3 juntas, de 5 utilizadas no trabalho; sendo possível criar uma análise entre estas combinações, para definir qual a melhor estrutura de contenção necessária para solucionar o problema e redefinir a estabilidade do maciço. Após a análise dos locais instáveis, foram definidos dois mecanismos para gerar a estabilidade da região, como opção de cravamento de tirantes de aço no corpo do material rochoso e a utilização de camadas de concreto projetado. Com a utilização destes dois métodos de obras de contenção, pode-se observar que os locais que se encontravam instáveis se tornaram estáveis.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto projetado, escavação, geotecnia, rocscience, tirantes.

SIMULATION OF THE STABILITY OF A

ABSTRACT: The process of excavating a tunnel is a stage of great importance and responsibility to give a sequence in the construction, since during the process of removal of the material not inside the tunnel, there is a relief of tensions in the walls surrounding the perforated site. This can consequently destabilize the material that is still held intact in the side walls and in the upper portion of the tunnel. Therefore, the stabilization process of this massif is of great importance for the safety issue of employees and futures. The present work has as objective to perform a stability analysis in a fictitious tunnel, according to previous data concerning the parameters of the rocky massif. In order to perform the stability study, we used the Unwedge software of the Rocscience package, where the program used generated 10 different combinations of the unstable regions, each type of composition that has 3 joints, of 5 in no work; It is difficult to create an analysis between these combinations to define the best containment structure needed to solve the problem and redefine the stability of the massif. After analysis of the unstable sites, two mechanisms were defined to generate the stability of the region, as an option for crimping of non-body steel rods of the rock material and a use of layers of projected concrete. With a use of the two methods of containment works, it can be seen that the sites that were unstable became stable.

KEYWORDS: Bolt, excavation, geotechnics, rocscience, shotcrete.

1 | INTRODUÇÃO

Na engenharia civil, a construção de túneis e obras subterrâneas sempre foi particularmente afetada por incidentes, nomeadamente colapsos com consequências trágicas, a que nos últimos anos se tem dado uma maior importância. O elevado grau de incerteza que caracteriza este tipo de obra, devido à variável e complexa envolvente geológica, pode muitas vezes sujeitá-la a problemas que colocam em risco a sua estabilidade e conseqüentemente a sua segurança e sustentabilidade econômica. A análise destes incidentes e a preocupação de mitigar as suas consequências conduziu a que, organizações internacionais, particularmente as grandes empresas seguradoras, dirigissem a sua atenção para o problema, a ponto de desenvolverem procedimentos adequados à gestão dos riscos que estas obras envolvem (GOMES, 2012).

Segundo de Carvalho (1995), a construção de um túnel provoca perturbações no maciço modificando o estado de tensões naturais, e conseqüentemente, originando deslocamentos na região circunvizinha a este. O estudo de padrões de deslocamento visa a melhor compreensão do comportamento do maciço durante e após a escavação, verificando os principais fatores de influência e desenvolvendo métodos para a previsão de deslocamentos. A intensidade e a forma destas perturbações serão diretamente influenciadas pelas características do maciço, geometria de escavação, qualidade de construção e as condições de contorno.

As características do maciço normalmente não podem ser escolhidas, pois os túneis geralmente são locados em função do traçado, podendo acarretar em condições geológicas pouco favoráveis. Entretanto, nas últimas décadas têm-se experimentado um grande desenvolvimento nas técnicas de estabilização e reforço das condições do maciço a ser escavado. A geometria da escavação, geralmente de grande porte em obras do sistema viário, deve considerar o estado de tensões in-situ do maciço, buscando formas que evitem concentrações de tensões. O método de escavação, o sistema de parcialização e a velocidade de avanço são fatores determinantes na qualidade da construção, influenciando o grau de deslocamento no maciço. A profundidade relativa do eixo do túnel, a condição de água subterrânea, a presença nas proximidades de superestruturas ou outras obras subterrâneas, constituirão importantes condições de contorno, as quais deverão ser consideradas no projeto do túnel (DE CARVALHO, 1995).

Um dos processos mais importantes na construção de túneis é a definição do método que será utilizado para o desmonte de rocha que está presente no interior de maciço rochoso, a fim de conseguir liberar área para o traçado desejado. Com o objetivo de escavação dos túneis, ainda predominam as técnicas da metodologia tradicional, denominada mundialmente como metodologia D&B – *Drill and Blast* (perfuração e detonação). Este método é subdividido entre: plano de fogo, perfuração da rocha, carregamento dos explosivos e controle de vibração/sismografia.

Sendo realizado o processo de escavação, o novo arranjo de estabilidade do maciço está completamente ligado ao modelo de orientação, direção de mergulho dos planos de atitude da rocha e das descontinuidades presentes na estrutura. Fontinhas (2009), diz que são essas descontinuidades que governam em regra o comportamento mecânico do maciço, pois são as estruturas menos resistentes, designadas nas situações de ruptura relacionadas com deslizamentos verificados ao longo de superfícies de anisotropia bem definidas.

A avaliação da atitude das descontinuidades, que é normalmente definida por esses dois parâmetros (*strike e dip*), permite identificar as famílias de descontinuidades singulares, que são determinantes no estudo dos problemas de estabilidade. (Fiori & Carmignani 2009).

Segundo França (2006) *apud* Rocha (2006), a abertura de um túnel em um maciço previamente em equilíbrio, submetido a um estado inicial de tensões, pode ser entendida como a remoção das tensões existentes no contorno da escavação realizada. Essa remoção acarreta em um rearranjo do estado de tensões do maciço, que busca uma nova situação de equilíbrio. O equilíbrio estabelecido poder ser alcançado com a adoção de um sistema auxiliar de suporte, se tratando nesse caso de um maciço classificado com autoportante; ou, ocorre na maioria dos casos, com o auxílio de um sistema de suporte, por exemplo, a adoção de uma estrutura de concreto projetado no contorno da escavação para conter as deformações do maciço.

2 | DESENVOLVIMENTO

A realização deste projeto teve como base a análise de um conjunto de informações geológico-geotécnicas a partir de um conjunto fictício de dados, informações dos parâmetros de resistência da rocha, pressão da água, orientação e propriedades das juntas; a fim de possuir dados suficientes para gerar a estabilidade através do programa Unwedge 3.0, do pacote da Rocscience, como mostra o exemplo na Figura 1. A partir destes dados, foi realizada a análise de estabilidade do maciço através de cunhas formadas pelo encontro de discontinuidades existentes no trecho considerado. Sendo assim, com a estabilidade definida referente a este determinado trecho analisado, foi determinada qual medida de contenção será a mais segura e eficaz a ser aplicada.

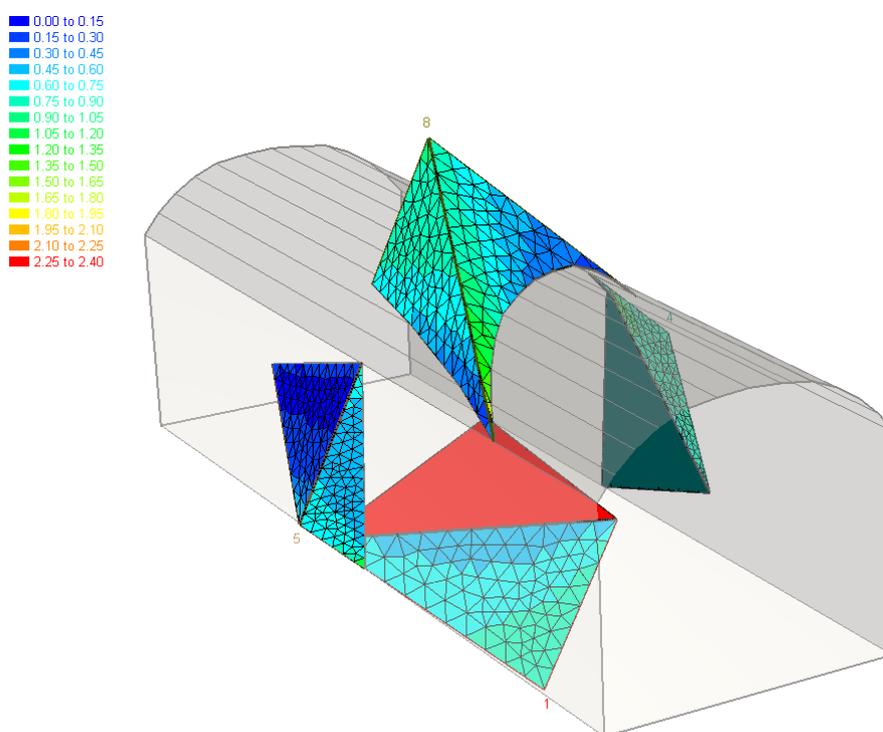


Figura 1 - Análise de estabilidade de uma seção de um túnel, utilizando o programa Unwedge. Imagem puramente ilustrativa.

Fonte: *Software Unwedge*.

2.1 Dados Utilizados

Estes parâmetros foram utilizados para a realização do estudo de estabilidade do maciço rochoso presente dentro do túnel, mostrado na Figura 2 e Figura 3, a fim de manter as porções de rocha estáveis dentro do túnel, garantindo a segurança do projeto.

Como se trata de um projeto de grandes proporções, utilizou-se, com base na NBR 11682, o Fator de Segurança mínimo de 1,5, considerando seu grau de segurança necessário ao local sendo classificado como alto.

- Direção do Túnel (*Trend*) – 90°
- Mergulho do Túnel (*Plunge*) – 0°
- Fator de Segurança Requerido Para o Túnel – 1.5
- Peso Específico do Maciço Rochoso – 3.0 t/m³
- Peso Específico da Água – 0.981 t/m³

The screenshot shows the 'Input Data' dialog box with the following settings:

- Tunnel Axis Orientation:** Trend: 90°, Plunge: 0°
- Design Factor of Safety:** 1.5
- Unit Weight:** Rock: 3 t/m³, Water: 0.981 t/m³
- Seismic Force:** Seismic Force (unchecked), Direction: Sliding, Seismic coefficient: 0

Buttons: Apply, OK, Cancel

Figura 2 - Propriedades gerais do túnel utilizada no *Unwedge*.

Fonte: *Software Unwedge*.

- Orientação das Juntas:

Junta 1 – 270/40

Junta 2 – 135/52

Junta 3 – 314/47

Junta 4 – 90/50

Junta 5 – 0/30

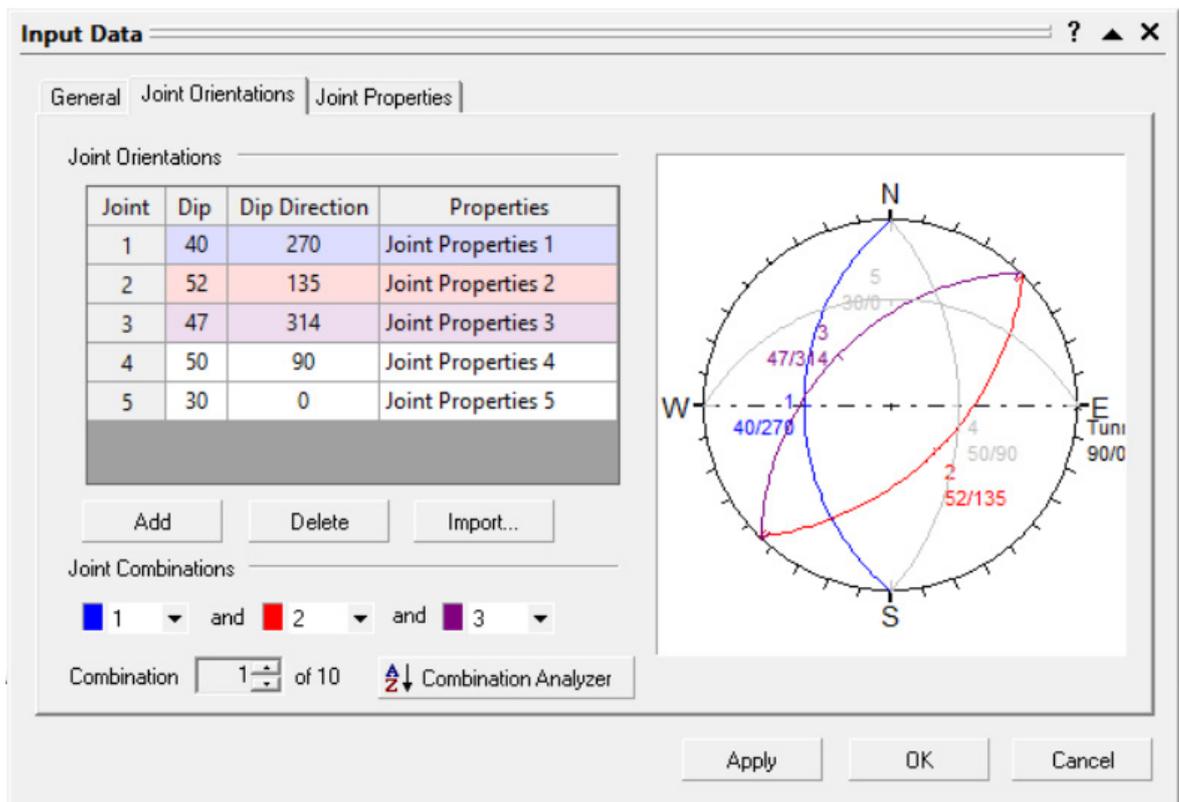


Figura 3 - Mergulho e direção de mergulho das juntas.

Fonte: Software Unwedge.

- Propriedades das Juntas:

- Junta 1 - Coesão = 2 t/m^2
 Ângulo de atrito = 400
 Pressão de água = 12 t/m^2
 Resistência à Tração = 0 t/m^2
- Junta 2 - Coesão = 4 t/m^2
 Ângulo de atrito = 300
 Pressão de água = 12 t/m^2
 Resistência à Tração = 0 t/m^2
- Junta 3 - Coesão = 5 t/m^2
 Ângulo de atrito = 300
 Pressão de água = 12 t/m^2
 Resistência à Tração = 0 t/m^2
- Junta 4 - Coesão = 3 t/m^2
 Ângulo de atrito = 350
 Pressão de água = 12 t/m^2
 Resistência à Tração = 0 t/m^2
- Junta 5 - Coesão = 2 t/m^2
 Ângulo de atrito = 500
 Pressão de água = 12 t/m^2

Resistência à Tração = 0 t/m²

- Seção do Túnel – Diâmetro igual a 20m e altura igual a 8m, representada na Figura 4.

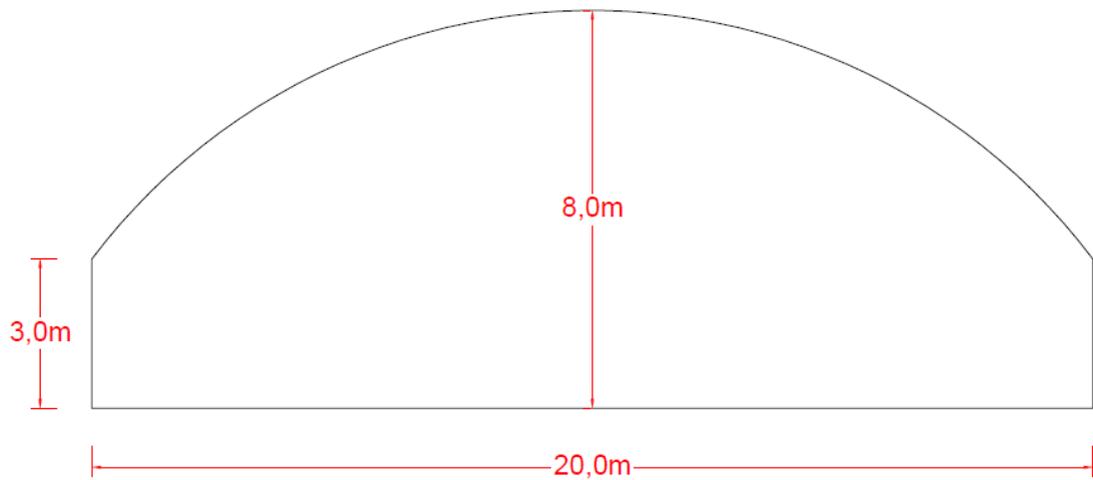


Figura 4 - Seção transversal do túnel.

Fonte: Autor.

No momento em que foi feita a verificação de estabilidade da região escolhida, o programa *Unwedge* gerou 10 combinações com 3 juntas distintas em cada, a partir da análise das 5 juntas definidas inicialmente, o exemplo dessas combinações está sendo mostrada no estereograma da Figuras 5.

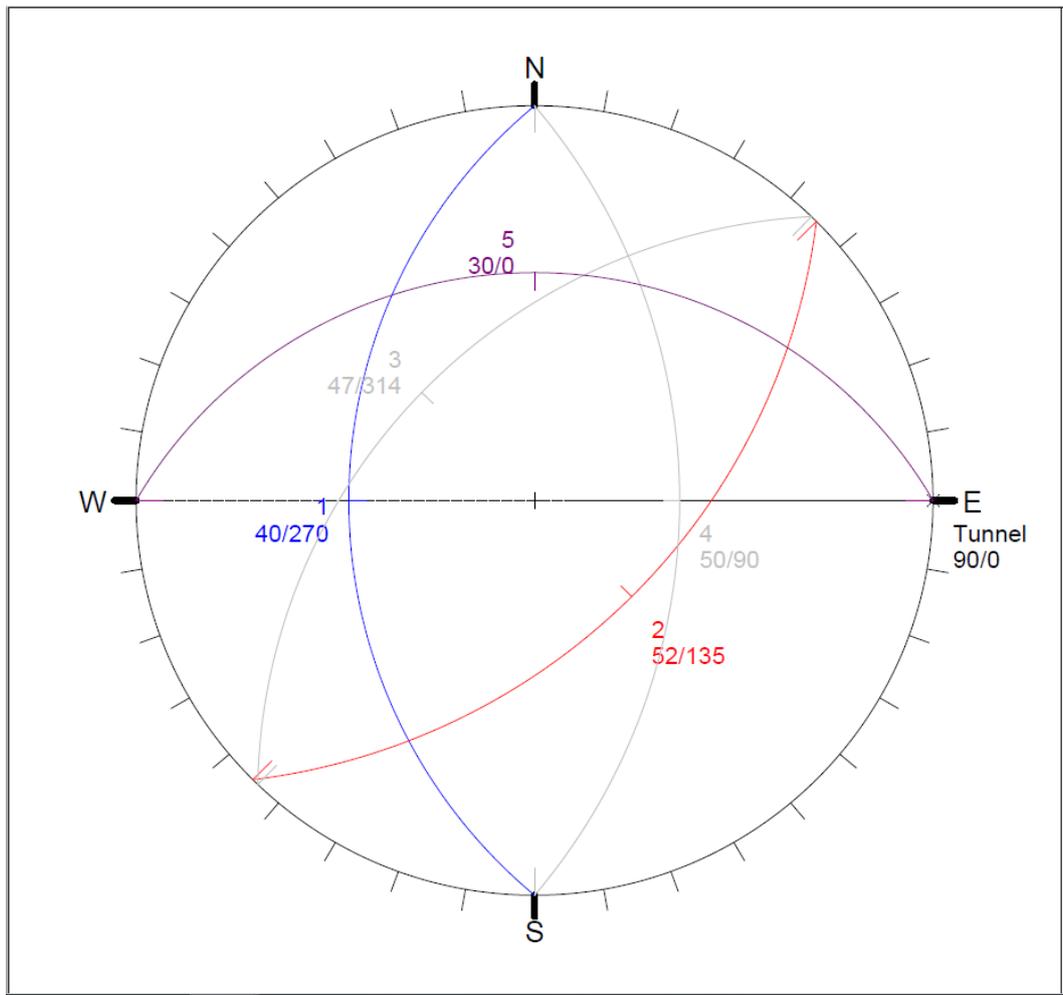


Figura 5 - Combinação 3, entre as juntas 1, 2 e 5.

Fonte: *Software Unwedge*.

2.2 Análise de estabilidade

Com as combinações das juntas definidas e analisadas, foi realizada as medidas de contenções das cunhas instáveis, para o aumento do fator de segurança, e para contenção utilizou-se tirantes e concreto projetado.

As análises de estabilidade das combinações entre juntas mostrada na Figura 6, como a combinação 3 referente as juntas 1, 2 e 5, na qual apresentou uma maior necessidade de obras de contenção. Sendo composta por 4 cunhas de volumes e posições variáveis, na qual se destacou a cunha 8 com o seu fator de segurança igual a 0,566, localizada na parte superior do túnel, sendo necessário uma obra de contenção mais robusta, a fim de estabilizar o volume de 15.032m³ de rocha e seu peso de 45.095 toneladas.

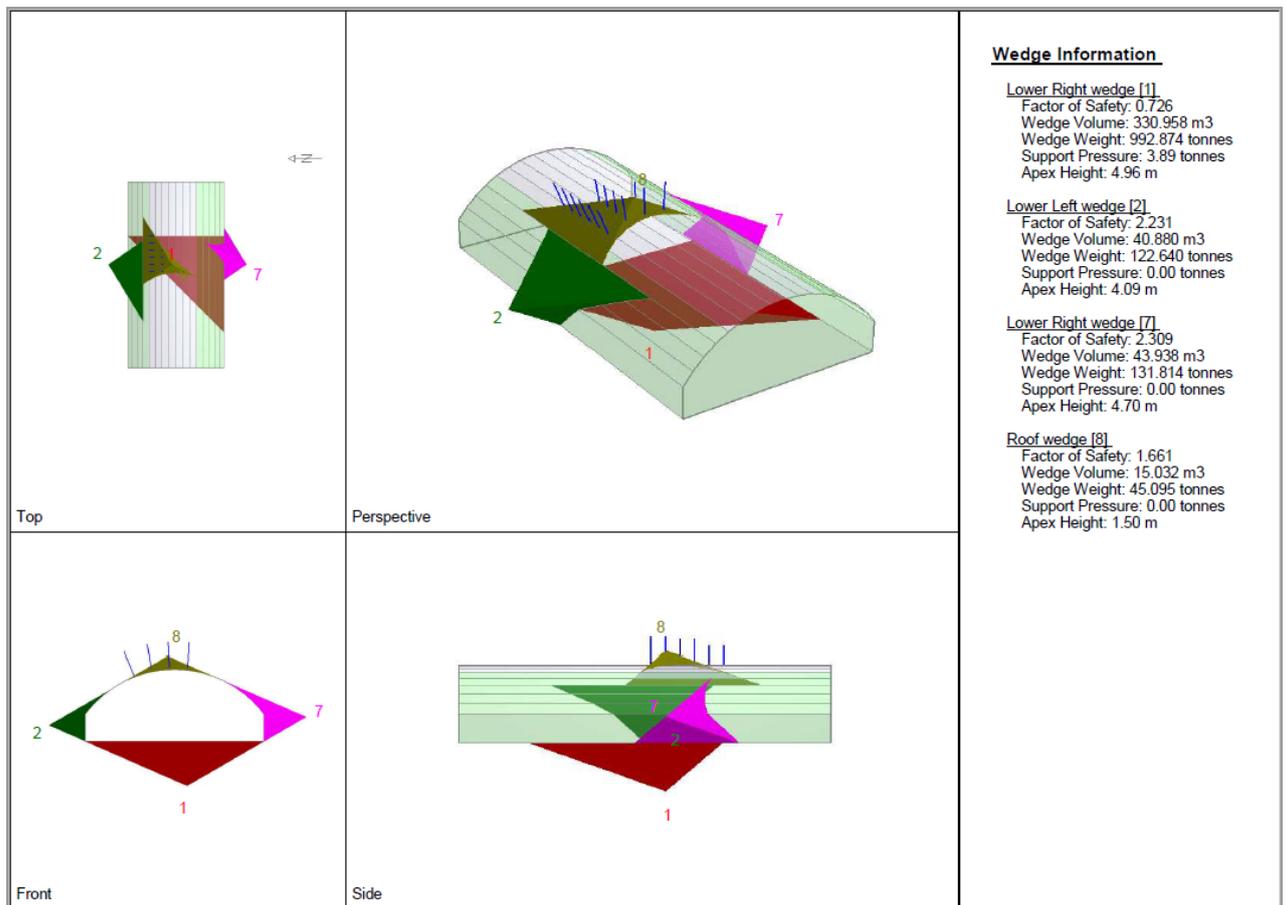


Figura 6 - Cunhas formadas pela combinação 3.

Fonte: *Software Unwedge*.

2.3 Meio de Estabilidade

Com o intuito de gerar uma estabilidade perante aos locais instáveis, foram necessárias a utilização de tirantes e a aplicação de concreto projetado nas paredes do túnel.

A utilização do atirantamento na rocha se deu por uma orientação normal na seção de abertura, com tirantes possuindo 3,00 m de comprimento e uma distribuição padrão das peças, com medidas no espaçamento transversal entre cada barra de 1,50 m e espaçamento longitudinal de 2,50 m. A ancoragem dos tirantes no maciço é do tipo mecânica, onde uma máquina específica crava as hastes de aço na rocha, sendo considerada algumas características de resistência do tirante, como: capacidade de tração de 100,00 ton, capacidade da placa de 75,00 ton e capacidade de ancoragem de 100,00 ton.

Para a aplicação do concreto projetado, foi necessário definir características para o material, de forma que atendesse as cargas aplicadas sobre o mesmo, sendo assim, a força de cisalhamento foi definida em 200 t/m², a resistência do concreto em 2,4 t/m³ e a espessura do material aplicado de 5 cm.

Como exemplo, na combinação 3 representada na Figura 7, para a contenção completa das cunhas formadas foram utilizados 13 tirantes, sendo estes todos

localizados na cunha 8, que suportam a carga de 45.095 toneladas da mesma; além de uma camada de concreto projetado de 5 cm de espessura.

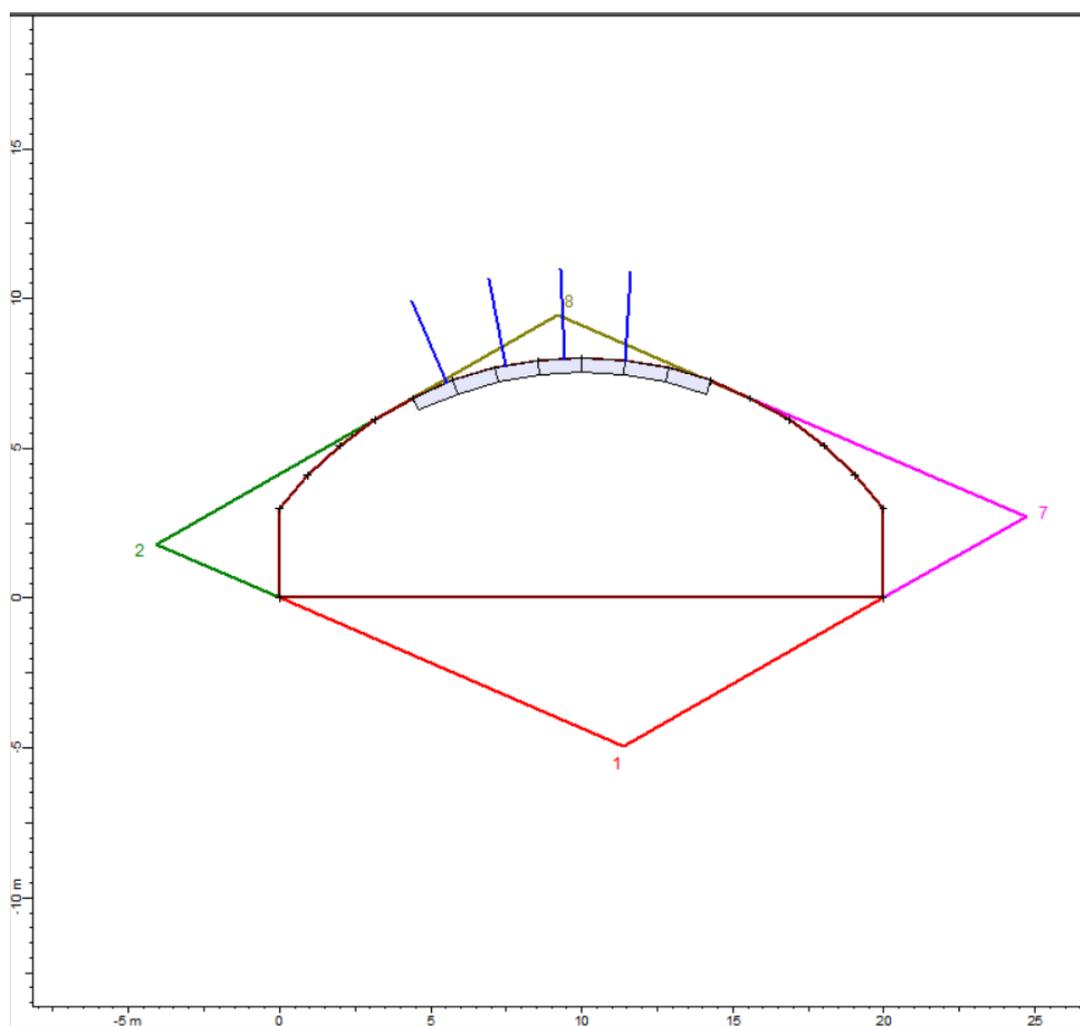


Figura 7 - Cunhas formadas pela combinação 3 e contenções necessárias.

Fonte: *Software Unwedge*.

3 | CONCLUSÕES

Este trabalho teve como o objetivo demonstrar uma análise de estabilidade do maciço rochoso presente no interior de um túnel fictício. A estabilização de inúmeras porções de rocha se deu pelo fato das mesmas estarem instáveis, com o grande risco de se deslocarem de seu local de origem e causar possíveis danos estruturais; podendo levar até ao desmoronamento do túnel.

Usando o Software Unwedge 3.0 da Rocscience, juntamente com o conhecimento prévio no assunto, foi realizada as análises de estabilidade necessárias, a fim de determinar que possíveis pontos no interior do túnel estavam completamente instáveis, o que causaria sérios problemas na construção. Com esses pontos localizados, foi determinado a utilização de tirantes e/ou o uso do concreto projetado; chegando assim ao fator de segurança igual ou maior do que 1,5, como definido em projeto, o

que caracteriza a estabilidade da região.

A aplicação dos meios de estabilização do maciço não é de forma tão simples, em vista a grande importância e responsabilidade presente no porte da construção. Sendo assim, os mecanismos de estabilização foram dimensionados com o objetivo de se tornarem um meio de elevar a segurança e garantir a estabilidade das porções de rocha que circundam e que compõem as paredes do túnel.

Portanto, conclui-se a partir deste trabalho que a utilização de tirantes e/ou concreto projetado de forma correta e coerente, demonstrou ser o suficiente para estabilizar os locais onde havia algum tipo de instabilidade; as variações entre as porções de rocha estabilizadas estão na quantidade de tirantes aplicados e na espessura da camada de concreto projetado que envolve o maciço de rocha.

REFERÊNCIAS

CARVALHO, N., T.B. CELESTINO, T.B., KOSHIMA, A., TELLES, R.C.A. & ASSIS, A.P. **Túneis Rodoviários, Túneis do Brasil. Comitê Brasileiro de Túneis- ABMS**, São Paulo, 2006.

DE CARVALHO, Luciano Costa. **Análise de Estabilidade da Frente de Escavação e de Deslocamento do Túnel do Metrô/DF**. Universidade de Brasília – Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil. Dissertação de mestrado em geotecnia. Brasília/DF, 1995.

FIORI, ALBERTO PIO; CARMIGNANI, LUIGI. **Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas; Aplicações na estabilidade de taludes** – 2 ed. rev. e ampl.: Ed. UFPR, 2009. 604 p.

FRANÇA, PEDRO TEODORO. Estudo do Comportamento de Túneis – **Análise Numérica Tridimensional com Modelos Elasto-Plásticos**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Dissertação para obtenção do título de Mestre em Engenharia. São Paulo, 2006.

GOMES, David André Prata. **Gestão de Riscos na Construção de Túneis e Obras Subterrâneas**. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL). Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Área de Especialização em Estruturas. Lisboa, 2012.

SOBRE O ORGANIZADOR

CLEBERTON CORREIA SANTOS- Graduado em Tecnologia em Agroecologia, mestre e doutor em Agronomia (Produção Vegetal). Tem experiência nas seguintes áreas: agricultura familiar, indicadores de sustentabilidade de agroecossistemas, uso e manejo de resíduos orgânicos, propagação de plantas, manejo e tratamentos culturais em horticultura geral, plantas medicinais exóticas e nativas, respostas morfofisiológicas de plantas ao estresse ambiental, nutrição de plantas e planejamento e análises de experimentos agropecuários.

(E-mail: cleber_frs@yahoo.com.br) – ORCID: 0000-0001-6741-2622

ÍNDICE REMISSIVO

A

Acidentes 109, 310, 311, 312, 313, 314

Aminas primárias 81, 84, 85

Atividade antioxidante 144, 146, 151, 152, 153, 155, 156

B

Bioimpressão 193, 194, 195, 196, 199

C

Castanhola 74, 75, 79

Compostos multifuncionais 64, 67

Compressores Herméticos 34, 35, 36, 39, 40

Construção Civil 102, 105, 112, 113, 157, 179, 363

CPTEC 205, 206, 207, 208, 217

E

Equações lineares 45, 233, 236, 237, 238, 239, 240, 353

Estrutura axiomática 183, 186, 189

F

Fonte de fissão 41, 42, 44, 45, 47, 48, 49

G

Geoprocessamento 1, 2

H

Hemocentro 317, 322, 323, 324, 326

Hibridização 64, 65, 67, 68, 69, 71

L

Lesson Study 218, 219, 220, 221, 222, 224, 225

Leveduras 8

M

Mapeamento 1, 2, 3, 4, 6, 7, 181, 280

Mecânicas de eritrócitos 226

Multi-objetivo 277, 278, 279, 281, 282, 283, 284, 287

Mutagênese 8, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 18

P

PHB/PC 253, 254, 257, 261, 262, 264

Protocolos de redes 52

R

Redes neurais 349, 350, 351, 354, 356, 358, 359, 360, 361, 362

Risco de inundação 1, 3, 4, 5, 6, 7

S

Smart Grids 51, 52, 53, 61

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-622-5

